

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

20

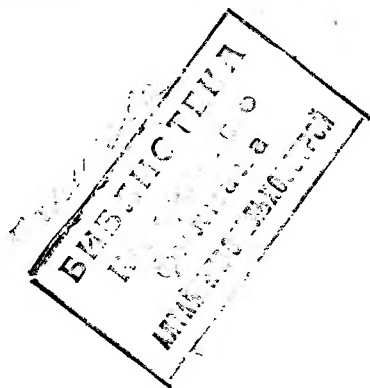
ПРОЕКТИРОВАНИЕ и РАСЧЕТ конструкций тепловых сетей



А. А. ЛЯМИН, А. А. СКВОРЦОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Издание 2-е, переработанное и дополненное



Издательство
литературы по строительству
Москва — 1965



2220-1-

Книга посвящена проектированию строительных конструкций и трубопроводов тепловых сетей.

В ней описаны конструкции для подземной и надземной прокладки теплопроводов и даны указания по их выбору в зависимости от конкретных условий. Наряду с применяющимися конструкциями каналов, коллекторов и туннелей, а также конструкциями для бесканальной прокладки приведены новые типовые и индивидуальные эффективные решения этих конструкций. Рассмотрены также специальные наиболее сложные конструкции тепловых сетей: подводные, подземные и воздушные переходы.

Приведены указания по выбору труб, опор — подвижных и неподвижных, арматуры, компенсирующих устройств, теплоизоляционных конструкций и материалов.

Изложена методика расчета строительных конструкций и трубопроводов, а также приведены примеры их расчетов.

Для облегчения и ускорения расчетов книга снабжена вспомогательными материалами, включающими таблицы, графики и номограммы.

Книга предназначена в качестве пособия для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией тепловых сетей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Теплофикация как одна из отраслей энергетики начала развиваться в нашей стране с 1924 г. Успехи в развитии теплофикации, достигнутые за эти годы, выразились в повышении годового отпуска тепла для нужд централизованного теплоснабжения, увеличении установленной мощности теплофикационных агрегатов и комбинированной выработки электрической энергии на базе теплового потребления.

Значительные успехи достигнуты промышленностью по созданию нового энергетического оборудования, что позволяет сооружать теплоэлектроцентрали с большой электрической и тепловой мощностью. На вновь строящихся и реконструируемых ТЭЦ в последние годы устанавливаются теплофикационные турбины мощностью 50 и 100 тыс. кВт, что дает возможность обеспечивать централизованным теплоснабжением целые районы крупных городов.

Достигнут также существенный рост магистральных тепловых сетей, длина которых увеличилась в городах Советского Союза с 1956 по 1961 г. в 2—3 раза. Рост сетей продолжается и в настоящее время, например, в Москве к 1964 г. длина магистральных тепловых сетей достигла 900 км, а с разводящими сетями она составила 1500 км. Ежегодный прирост магистральных тепловых сетей по Советскому Союзу составляет около 600 км/год.

Однако темпы строительства и ввода в действие новых тепловых сетей являются недостаточными и отстают от темпов ввода тепловых мощностей на ТЭЦ. Это приводит к недоиспользованию тепловых мощностей ТЭЦ и снижению эффективности теплофикации.

Вследствие недостаточного развития тепловых сетей в ряде городов не может быть использована имеющаяся тепловая мощность ТЭЦ. Иногда вновь построенные ТЭЦ длительное время работают на конденсационном режиме из-за отсутствия тепловых сетей. Отставание темпов строительства тепловых сетей в значительной степени связано с высокой стоимостью

конструкций теплопроводов, большими затратами на строительные материалы и трубы.

Следует отметить, что стоимость сооружения тепловых сетей составляет от 30 до 50% начальной стоимости ТЭЦ, а расход стальных труб на магистральные теплопроводы достигает 20 т на 1 Гкал установленной тепловой мощности в 1 ч. Поэтому основной задачей, которая должна быть решена при проектировании, является снижение стоимости строительства тепловых сетей, а также расхода труб и строительных материалов.

Значительно задерживает строительство тепловых сетей недостаточная индустриальность проектируемых конструкций. В первую очередь сказанное относится к конструкциям тепловой изоляции теплопроводов.

Применение сборного железобетона в проектировании и строительстве тепловых сетей позволило наладить заводское изготовление деталей непроходных и полупроходных каналов, а также сборных элементов для проходных туннелей.

Однако применяемые сборные конструкции являются еще недостаточно эффективными: они требуют большого расхода железобетона, сборка их бывает затруднена большим количеством разнотипных деталей, соединение элементов часто не может быть выполнено надежно и высококачественно. Форма сборных элементов, в ряде случаев, затрудняет монтаж теплопроводов и устройство тепловой изоляции.

В настоящей книге большое внимание уделяется сборным конструкциям непроходных, полупроходных каналов и проходных туннелей, которые получили широкое применение.

Еще не получили достаточно широкого применения бесканальные конструкции теплопроводов, внедрение которых могло бы на 30—40% снизить капитальные затраты на сооружение тепловых сетей. Рассмотренные в книге бесканальные конструкции теплопроводов могут быть применены в строительстве.

Многие из приведенных в книге сборных конструкций, сооружаемых по трассе теплопроводов, себя оправдали и могут быть с успехом применены в строительстве тепловых сетей. Различные специальные конструкции почти не получили еще должного освещения в опубликованной технической литературе по тепловым сетям, что вызывает большие трудности при их проектировании и строительстве. Поэтому в книге приведены примеры таких конструкций (подводные туннели, мосты, подземные переходы, осуществляемые закрытым способом, и эстакады для подземной прокладки труб).

Широкое применение в связи с ростом теплофикации городов получили общие коллекторы, которые следует признать большим достижением советского градостроительства. Как показал опыт строительства и эксплуатации общих городских коллекторов в Москве и других городах Советского Союза,

этот способ совместной прокладки подземных коммуникаций различного назначения позволяет рационально решить вопросы организации городского подземного хозяйства и обеспечить долговечную и надежную службу трубопроводов и электрических кабелей. Сооружение таких коллекторов дает возможность упростить и удешевить эксплуатацию подземных коммуникаций. Поэтому при проектировании магистральных и разводящих тепловых сетей необходимо как можно шире использовать их совместную прокладку в общих коллекторах с водопроводами, газопроводами, электрокабелями высокого напряжения и кабелями связи.

В опубликованной в настоящее время литературе по вопросу расчета трубопроводов на прочность рассматриваются главным образом трубопроводы электрических станций, судовых установок, магистральных нефтепроводов и газопроводов, которые по условиям работы, способам прокладки и параметрам транспортируемых продуктов (температуре и внутреннему давлению) значительно отличаются от трубопроводов наружных тепловых сетей.

Ведущие проектные организации, занимающиеся проектированием тепловых сетей, пользуются каждая своими собственными методами расчета, формулами, графиками и номограммами. Результаты таких расчетов при определении напряжений и усилий, действующих в трубах и передаваемых на опорные конструкции, сильно отличаются друг от друга. Особенно большие расхождения наблюдаются при применении упрощенных формул в расчетах трубопроводов на самокомпенсацию температурных удлинений, а также формул для определения сил трения в сальниках компенсаторов, усилий в линзовых компенсаторах и др.

В существующей проектной практике часто используются расчетные предпосылки, не отражающие реальных условий работы теплопроводов. Это относится прежде всего к подземным бесканальным теплопроводам.

В расчетах самокомпенсирующихся трубопроводов (Г- и Z-образные схемы), широко используемых в наружных тепловых сетях, для упрощения расчетов в большинстве случаев не учитывается дополнительная гибкость отводов. Упрощенные расчеты (по схеме рам с прямыми жесткими углами) приводят к большим неточностям. По этой же причине следует с большой осторожностью пользоваться графиками и номограммами, например номограммами, помещенными в справочнике «Расчет трубопроводов на прочность», разработанному американской фирмой «Келлог» и изданному Госэнергоиздатом в 1963 г.

Отсутствие утвержденных нормативов и недостаточную разработанность теории расчета теплофикационных трубопроводов на прочность, отсутствие экспериментальных работ по измерению действующих в трубах усилий и напряжений про-

ектные организации компенсируют увеличенными запасами прочности. Все это приводит к излишнему расходу стальных труб, прокатного металла, бетона и железобетона, к удорожанию строительства тепловых сетей.

Необходимо внедрять в практику проектирования тепловых сетей научно обоснованные методы расчета и расчетные формулы, рационально выбирать строительные конструкции, компенсационные устройства, а также наиболее долговечные и экономичные строительные и теплоизоляционные материалы.

При разработке отдельных разделов книги в основу положены:

1) опыт проектирования строительства и эксплуатации строительно-изоляционных конструкций тепловых сетей и специальных сооружений;

2) указания и рекомендации СНиП по проектированию и расчету конструкций;

3) типовые детали конструкций и сооружений;

4) результаты новейших теоретических и экспериментальных исследований в области трубопроводной техники, а также результаты исследований, проведенных в лаборатории теплофикации Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Э. Дзержинского по испытанию компенсаторов, теплоизоляционных материалов и конструкций, на действующих теплопроводах и стендовых установках.

Первое издание настоящей книги было выпущено Госстройиздатом в 1957 г. под названием «Строительные конструкции тепловых сетей из сборных железобетонных деталей». Во втором издании больше чем в первом уделено внимания вопросам проектирования тепловых сетей. Написан новый раздел «Конструкции теплопроводов», которого не было в первом издании. В этом разделе рассмотрены вопросы расчета и конструирования теплофикационных трубопроводов и их элементов, а также выбора теплоизоляционных конструкций и материалов.

Отдельные разделы книги написаны: первый — инж. А. А. Ляминам, второй — А. А. Скворцовым.

Раздел первый СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Глава I.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование конструкций тепловых сетей является составной частью проектирования схем теплоснабжения городов в целом и отдельных его районов, схем теплоснабжения от ТЭЦ, тепломагистралей и разводящих тепловых сетей.

При разработке схем теплоснабжения производится выбор основных решений по конструкциям теплопроводов и способам их прокладки, а также определение стоимости и затрат основных материалов по укрупненным показателям.

Выбор конструкции тепловых сетей и способов прокладки при составлении схем теплоснабжения производится с учетом гидрогеологических условий и перспектив градостроительства.

Тепловые сети проектируют, как правило, в две стадии: проектное задание и рабочие чертежи.

Проектное задание тепловых сетей города или отдельного района выполняется на основании схемы теплоснабжения, разрабатываемой на определенный расчетный период. Проектное задание тепловых сетей от существующих или ранее запроектированных тепловых сетей разрабатывается на основании утвержденного технического задания на проектирование.

Рабочие чертежи разрабатываются по утвержденному проектному заданию.

Основными исходными данными для проектирования конструкций тепловых сетей являются: а) план трассы теплопроводов, выполненный на геодезической основе с нанесенными на ней подземными коммуникациями и наземными сооружениями; б) профиль трассы с нанесенными на нем гидрогеологическими данными и пересекаемыми подземными коммуникациями и сооружениями.

При проектировании тепловых сетей широко применяются типовые проекты конструкций и деталей или повторно используемые наиболее экономичные решения.

Минимальные расстояния в плане от тепловых сетей
до инженерных сооружений

Наименование	Минимальные расстояния в свету в м
При подземной прокладке	
До ближайшего трамвайного рельса	2
» оси ближайшего железнодорожного пути . .	4 (но не менее чем на глубину траншей от по- дошвы насыпи)
» ближайшего рельса электрифицированной же- лезной дороги	10
До бордюрного камня автомобильной дороги . . .	1,5
» наружной бровки кювета или подошвы насыпи автомобильной дороги	1
До обреза фундаментов зданий и сооружений:	
а) при прокладке на уровне или выше осно- ваний фундаментов	2
б) при прокладке ниже оснований фундамен- тов в зависимости от глубины заложения тепловых сетей и фундаментов с учетом естественного откоса грунта	Не менее 5
До мачт и столбов наружного освещения, контакт- ной сети и сети связи	1,5
До кабелей связи и силовых кабелей напряжени- ем до 35 кВ	2
До бронированного телефонного кабеля или до блока телефонной канализации	1
До водопровода	1,5 (но не менее раз- ницы в глубине заложе- ния)
» канализации, водостоков и дренажей	1
» газопровода давлением до 6 кг/см ²	2
То же, давлением 6—12 кг/см ²	4
До фундамента опоры наземного газопровода . .	1
» оси дерева с кроной не более 5 м в диаметре	2
» кустарника	1
При надземной прокладке	
До железных дорог широкой и узкой колеи . . .	По габаритам приближе- ния строений—габарит «С» по ГОСТ 9238—59 и ГОСТ 9720—61
» автомобильных дорог от грани бордюрного камня или внешней бровки кювета	0,5
До трамвайных путей от оси ближайшего пути на прямых участках	2,8
До оси дерева с кроной не более 3 м в диаметре	2
» проводов линий электропередачи (при рас- стоянии по высоте не менее принятого для пе- ресечения в табл. 1.2)	2

трасса городских тепловых сетей проектируется как по проездам, так и по кварталам города. В пределах проезда трасса тепловых сетей, прокладываемых в самостоятельных конструкциях, выбирается, как правило, в зеленой зоне. При выборе трассы тепловых сетей необходимо учитывать преимущество совместной прокладки теплопроводов с другими трубопроводами и кабелями в общем городском коллекторе. Общее направление трассы магистральных тепловых сетей должно приниматься с учетом ее минимальной протяженности и прокладки в районах с наиболее плотной тепловой нагрузкой. Следует избегать размещения трассы на проездах с усовершенствованным дорожным покрытием и интенсивным движением транспорта. При трассировке тепловых сетей в новых районах массовой застройки и по незастраиваемым территориям следует избегать пересечения рек, оврагов и заболоченных мест, так как это связано с необходимостью возведения специальных сооружений.

Выбор трассы и способов прокладки тепловых сетей должен производиться с учетом указаний СНиП II-Г.10-62 «Тепловые сети. Нормы проектирования», СНиП II-К.3-62 «Улицы, дороги и площади населенных мест. Нормы проектирования» и СНиП II-К.2-62 «Планировка и застройка населенных мест. Нормы проектирования».

Расстояния трассы тепловых сетей до других сооружений и параллельно проложенных коммуникаций должно обеспечивать сохранность этих сооружений и коммуникаций как при строительстве, так и в период эксплуатации.

Минимальные расстояния в плане от конструкций тепловых сетей до инженерных сетей и сооружений приведены в табл. 1.1.

Заглубление тепловых сетей от поверхности земли до верха перекрытия каналов, туннелей и конструкций при бесканальной прокладке должно быть не менее: при наличии дорожного покрытия — 0,5 м, при отсутствии дорожного покрытия — 0,7 м.

Расстояние в свету от перекрытия каналов и туннелей до подошвы рельса железнодорожных и трамвайных путей должно быть не менее 1 м.

Минимальные расстояния по вертикали от тепловых сетей до других инженерных сооружений в местах пересечения принимаются по табл. 1.2.

Уклон тепловых сетей принимается не менее:

а) при подземной прокладке и отсутствии грунтовых вод и надземной прокладке — 0,002;

б) при подземной прокладке в зоне грунтовых вод с попутным фильтрующим дренажем — 0,003;

в) при подземной прокладке в просадочных грунтах — 0,02.

Таблица 1.2

Минимальные расстояния по вертикали от тепловых сетей до инженерных сооружений

Наименование	Минимальные расстояния в свету в м
При подземной прокладке	
До сетей водопровода, водостока, газопровода и канализации	0,2
До бронированного телефонного кабеля и кабеля при напряжении до 35 кВ	0,5
До блока телефонной канализации или бронированного телефонного кабеля в трубах	0,15
При надземной прокладке	
До головки рельса железных дорог широкой и узкой колеи	По габаритам приближения строений — габарит «С» по ГОСТ 9238—59 и ГОСТ 9720—61
До одежды проезжей части дороги	4,5
» головки рельса трамвайных путей	4,5
Над пешеходными дорогами и проходами	2
» проводами троллейбуса	0,2
До проводов линии электропередачи от внешних габаритов конструкций тепловых сетей (включая лестницы, площадки, ограждения и пр.) — до ближайшего провода при напряжении до 20 кВ	3
То же, до 35—110 кВ	4
То же, до 150 »	4,5
То же, до 220 »	5
То же, до 330 »	6

2. КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Одной из основных особенностей теплопроводов является относительно высокая температура транспортируемого по ним продукта — воды или пара, в большинстве случаев превышающая 100°C, что в значительной мере предопределяет характер конструкций тепловых сетей, так как требует устройства тепловой изоляции и обеспечения свободы перемещений труб при их нагревании или охлаждении.

Наличие тепловой изоляции и требование свободного перемещения труб значительно усложняет конструкцию теплопроводов — последние укладывают в каналах, туннелях или защитных оболочках.

Периодический нагрев стенок теплопроводов до температуры 130—150°C делают непригодными противокоррозийные покрытия, обычно применяемые для защиты ненагретых стальных теплопроводов, прокладываемых в грунте. Для защиты теплопроводов от наружной коррозии необходимо применение таких

строительно-изоляционных конструкций, которые препятствуют проникновению к трубопроводам грунтовой влаги.

Применяемые в настоящее время конструкции теплопроводов отличаются значительным разнообразием. По способу прокладки тепловые сети делятся на подземные и надземные (воздушные).

Подземная прокладка трубопроводов тепловых сетей выполняется:

- а) в непроходных и полупроходных каналах;
- б) в туннелях или коллекторах совместно с другими коммуникациями;
- в) в оболочках различной формы и в виде засыпных прокладок.

При подземной прокладке вдоль трассы сооружаются камеры, ниши для компенсаторов, неподвижные опоры и пр.

Надземная прокладка трубопроводов тепловых сетей выполняется:

- а) на эстакадах со сплошным пролетным строением;
- б) на отдельно стоящих мачтах (опорах);
- в) на подвесных пролетных строениях (вантовых).

К особой группе конструкций относятся специальные сооружения: подводные, надземные и подземные переходы и ряд других.

Основными недостатками применяемых в строительстве подземных конструкций теплопроводов являются: недолговечность, большие тепловые потери, трудоемкость изготовления, значительный расход строительных материалов и высокая строительная стоимость.

Наибольшее применение получили сборные конструкции непроходных каналов с бетонными стенками. Применение непроходных каналов оправдывается в случае прокладки тепловых сетей в мокрых грунтах при условии устройства попутного дренажа. Следует ориентироваться на применение непроходных каналов, выполняемых из унифицированных сборных железобетонных деталей (рабочие чертежи типовых деталей зданий и сооружений серии ИС-01-04, утвержденные Госстроем СССР в 1963 г.). Указанные железобетонные каналы могут быть применены для тепловых сетей диаметром до 600 мм. Возможно применение непроходных каналов, собираемых из вибропрокатных плит, изготовленных на станах системы инж. Н. Я. Козлова.

Непроходные каналы с подвесной теплоизоляцией, образующей вокруг труб воздушную прослойку, незаменимы на участках трассы с самокомпенсацией тепловых удлинений теплопроводов. Характерной особенностью канальной прокладки тепловых сетей в отличие от бесканальной является обеспечение перемещений теплопроводов в продольном и поперечном направлениях.

При прокладке теплопроводов под проездами с интенсивным уличным движением и усовершенствованным дорожным покрытием применяются полупроходные каналы из сборных железобетонных деталей. При прокладке большого количества теплопроводов значительных диаметров применяются проходные туннели.

Для тепломагистралей больших диаметров также имеются типовые конструкции каналов, положительно зарекомендовавшие себя как в строительстве, так и эксплуатации. Например, в Москве сооружаются тепломагистральи диаметром 700—1200 мм. Однако конструкции каналов должны совершенствоваться до получения более рациональных решений. Для прокладки теплопроводов используются сборные железобетонные каналы одноячейкового и двухъячейкового сечений. В основном эти каналы проектируются полупроходного типа для возможности осмотра их обслуживающим персоналом, а также обеспечения максимальной надежности тепломагистралей в эксплуатации.

Способ бесканальной прокладки теплопроводов не нашел еще широкого применения при строительстве тепловых сетей. Только в Ленинграде значительное применение получила такая конструкция тепловых сетей, где в качестве тепловой изоляции используется автоклавный армопенобетон, наложенный на трубы в виде цилиндрической оболочки в заводских условиях. Эта бесканальная конструкция является наиболее индустриальной в строительстве и наиболее дешевой. Повсеместному распространению этой конструкции препятствует довольно сложная технология изготовления теплоизоляционной оболочки, требующая организации специализированных заводов.

В Москве и некоторых других городах получила применение бесканальная прокладка теплопроводов с двухслойной цилиндрической оболочкой, состоящей из железобетонной трубы и теплоизоляционного слоя (минеральной ваты).

Железобетонные трубы обладают достаточной механической прочностью, высокой сопротивляемостью ударным и вибрационным нагрузкам, хорошей влагонепроницаемостью. Поэтому они надежно защищают теплопровод от воздействия влаги и нагрузок, передаваемых грунтом. Тем самым достигаются более благоприятные условия для работы теплопроводов: снижаются напряжения в стенках труб и обеспечивается долговечность тепловой изоляции.

Наружная железобетонная оболочка остается неподвижной при перемещении теплопровода в осевом направлении вследствие температурных деформаций, что отличает данную конструкцию от конструкции с армопенобетонной оболочкой, перемещающейся в грунте вместе с теплопроводом.

Аналогичная конструкция выполняется и с применением в

качестве наружной оболочки асбестоцементных труб и железобетонных полуцилиндров.

Применение этих бесканальных конструкций может быть рекомендовано при прокладке в сухих грунтах с защитой наружной поверхности теплопроводов двумя слоями изола. Бесканальная прокладка теплопроводов с засыпной теплоизоляцией торфом, диатомовой крошкой и др. оказалась неудачной. В настоящее время ведутся экспериментальные работы по созданию материала засыпки.

Конструкции камер, применяемые при строительстве тепловых сетей, отличаются большим многообразием. Сборные камеры из железобетонных деталей разработаны для теплопроводов малых и средних диаметров. Камеры больших размеров выполняются из бетонных блоков и монолитного железобетона. Конструкции неподвижных опор в каналах выполняются из монолитного, а также сборного железобетона. В Москве, Новосибирске и других городах значительное распространение получили так называемые общие коллекторы, в которых теплопроводы прокладываются совместно с электрическими и телефонными кабелями, водопроводными и другими подземными сетями.

Проходные каналы и общие коллекторы оборудуются электрическим освещением, телефонной связью, вентиляцией, различными приборами автоматического управления и средствами водоотлива.

В вентилируемых проходных туннелях обеспечивается благоприятный температурно-влажностный режим воздушной среды, который способствует сохранности теплопроводов.

При строительстве общих коллекторов в Москве открытым способом работ хорошо зарекомендовала себя конструкция из крупных ребристых железобетонных блоков, предложенная инженерами Н. М. Давидянцом и А. А. Ляминам.

Способ совместной прокладки подземных сетей в общих коллекторах имеет целый ряд преимуществ, из которых наиболее существенными являются: повышение долговечности материальной части сетей и обеспечение наилучших условий эксплуатации. При эксплуатации тепловых сетей в коллекторах, а также при необходимости строительства новых подземных сетей не требуется вскрытия городских территорий для проведения ремонта. Размещение сетей различного назначения в коллекторах позволяет организовать их комплексное и плановое проектирование, строительство и эксплуатацию и дает возможность упорядочить всю систему размещения подземных сетей более компактно как в плане, так и в поперечном сечении городских проездов (рис. 1.1). Подземные городские коллекторы представляют собой современные инженерные сооружения (рис. 1.2). В табл. 1.3 приведено количество коммуникаций, размещаемых в коллекторах типовых сечений.

Количество трубопроводов и кабелей, размещаемых
в коллекторах различных сечений

Внутренние размеры сечений коллекторов в см		Размещаемые коммуникации		
высота	ширина	теплопроводы $2d$ в мм	кабели в шт.	водопровод d в мм
210	170	300—350	56—20	—
	170	—	90	—
	190	400—600	36—20	—
	190	—	118	—
	230	400—600	60—48	250
240	170	—	100	—
	190	400—700	68—12	—
	190	—	121	—
	230	400—700	78—45	300
	250	700—800	54—45	300
300	250	700—1000	102—45	300
	270	1000	65	300

Проектирование подземных, надземных и подводных переходов теплопроводов через естественные и искусственные препятствия входит в общий комплекс проектирования тепловых сетей и только в редких случаях выполняется специализированными организациями.

Подводные переходы через реки выполняются в виде проходных туннелей и дюкеров; воздушные переходы через реки и железнодорожные пути — в виде мостовых переходов. Возможна прокладка теплопроводов и по существующим мостам и путепроводам.

При пересечении трассой тепловых сетей железных и автомобильных дорог, а также городских проездов чаще всего сооружаются подземные переходы, осуществляемые закрытым способом для обеспечения бесперебойной эксплуатации дорог.

Подземные переходы выполняются главным образом в виде туннелей, сооружаемых при помощи металлических щитов круглого сечения. Эти туннели требуют значительного заглубления, а поэтому часто попадают в зону грунтовых вод, что осложняет производство работ и требует организации водоотлива из туннеля во время эксплуатации.

Другим видом подземного перехода является прокладка стальных футляров, внутри которых размещаются теплопроводы. Футляры прокладываются путем продавливания или прокола стальных труб гидравлическими домкратами. Осуществление этого вида переходов целесообразно там, где возможно

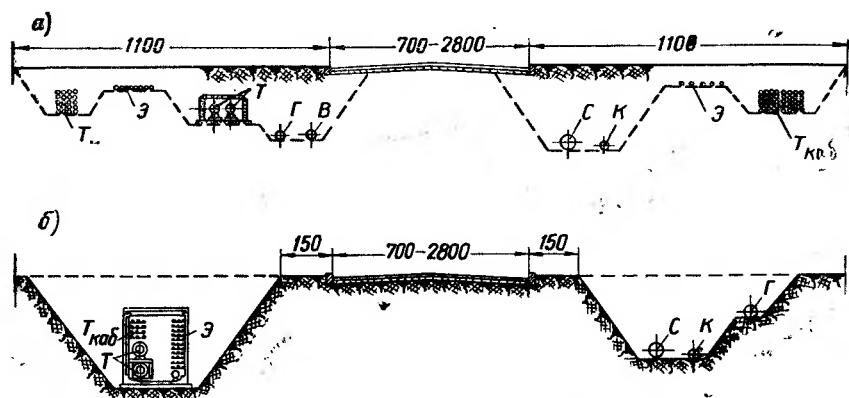


Рис. 1.1. Поперечные сечения проездов при прокладке коммуникаций
а — раздельной; б — совместной; T_k — телефонная канализация; Э — электрические кабели; Т — теплопроводы $2d=400$ мм; Г — газопровод $d=300$ мм; В — водопровод $d=300$ мм; С — водосток $d=600$ мм; К — канализация $d=200$ мм; T_{kab} — телефонные кабели

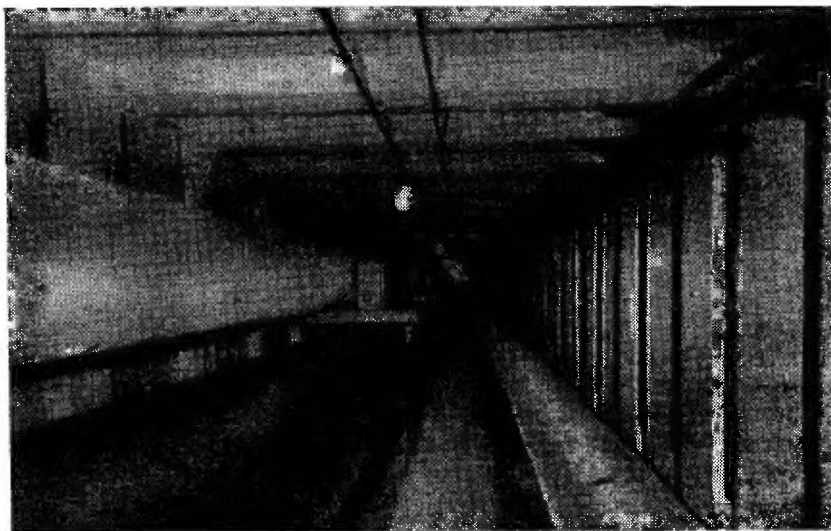


Рис. 1.2. Внутренний вид общего коллектора

пройти выше уровня грунтовых вод, не нарушая существующих подземных коммуникаций.

Подземные переходы из стальных футляров широко применяются в строительстве тепловых сетей.

Правильный выбор того или иного вида перехода составляет основную задачу при проектировании, поскольку стоимость этих сооружений весьма высокая и значительно увеличивает общую стоимость тепловых сетей.

На промышленных предприятиях большое распространение получила надземная прокладка теплопроводов по эстакадам, выполняемым часто из прокатного металла.

Проектирование эстакад с применением сборного железобетона в настоящее время существенно облегчается в связи с выпуском типового проекта «Унифицированные сборные железобетонные отдельно стоящие опоры под технологические трубопроводы» (серия ИС-01-06).

В городских тепловых сетях надземная прокладка теплопроводов выполнялась главным образом по металлическим мачтам решетчатой конструкции. Железобетонные мачты начали изготавливаться только в настоящее время. Так, например, железобетонные мачты из сборных деталей для тепловых магистралей диаметром 1200 мм нашли применение в Москве. Детали конструкций этих мачт изготавливаются на заводе и собираются на трассе.

3. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Рациональные конструкции теплопроводов, во-первых, должны допускать сооружение тепловых сетей промышленными методами и быть экономичными как по расходу строительных материалов, так и по затрате средств; во-вторых, они должны обладать значительной долговечностью, обеспечивать минимальные тепловые потери в сетях, не требовать больших материальных затрат и затрат труда на обслуживание при эксплуатации.

Имеющиеся конструкции теплопроводов в значительной мере отвечают указанным выше требованиям. Однако каждая из этих конструкций теплопроводов имеет свои специфические особенности, которые определяют область ее применения. Поэтому важное значение имеет правильный выбор той или иной конструкции при проектировании тепловых сетей в зависимости от местных условий.

Наиболее удачными конструкциями следует считать подземную прокладку теплопроводов:

а) в общих коллекторах из сборных железобетонных блоков совместно с другими подземными сетями;

б) в сборных железобетонных каналах (непроходных и полупроходных);

в) в армопенобетонных оболочках;
г) в железобетонных оболочках из центрифугированных труб или полуцилиндров с теплоизоляцией из минеральной ваты;

д) в асбестоцементных оболочках.

Эти конструкции применяются при строительстве городских тепловых сетей и успешно эксплуатируются.

При выборе конструкций прокладки теплопроводов необходимо учитывать: а) гидрогеологические условия трассы; б) условия расположения трассы на городской территории; в) условия строительства; г) эксплуатационные условия.

Гидрогеологические условия трассы имеют наиболее существенное значение для выбора конструкций теплопроводов, а поэтому они должны быть тщательно изучены.

При наличии достаточно плотных сухих грунтов имеется возможность для большого выбора конструкций теплопроводов. В этом случае окончательный выбор зависит от условий расположения трассы на территории города, а также от условий строительства и эксплуатации.

Неблагоприятные гидрогеологические условия (наличие высокого уровня грунтовых вод, грунтов со слабой несущей способностью и пр.) сильно ограничивают выбор конструкций тепловых сетей. При высоком уровне грунтовых вод наиболее приемлемым решением подземной конструкции теплопроводов является укладка последних в каналах с попутным дренажем при подвесной тепловой изоляции труб. Применение каналов с гидроизоляцией оказывается эффективным только для проходных каналов, в которых гидроизоляция может быть выполнена достаточно качественно.

В проходных каналах дополнительно может быть организован водоотлив, что гарантирует теплопроводы от затопления грунтовыми водами. При проектировании попутного дренажа необходимо обеспечивать надежный выпуск дренажных вод в городские водостоки или водоемы.

При проектировании тепловых сетей в условиях временного подтопления грунтовыми водами (паводковыми водами) может быть принят тип прокладки теплопроводов в полупроходных каналах без устройства дренажа и гидроизоляции. В этом случае должны быть предусмотрены мероприятия по защите от увлажнения тепловой изоляции и труб: покрытие труб борулином, устройство водонепроницаемой асбестоцементной корки поверх теплоизоляции и др.

При проектировании тепловой сети в мокрых грунтах на территории промышленных предприятий лучшим решением является надземная прокладка теплопроводов.

Расположение трассы на городской территории в значительной мере влияет на выбор типа прокладки теплопроводов.

При расположении трассы под магистральными городскими

проездами неприемлема прокладка теплопроводов в оболочках и непроходных каналах, поскольку при ремонте тепловой сети необходимо вскрывать дорожную одежду на значительной длине трассы. Поэтому под магистральными проездами теплопроводы должны укладываться в полупроходных и проходных каналах, допускающих осмотр и ремонт тепловой сети без вскрытия.

В последние годы при проектировании новых городских проездов оставляются зеленые зоны, в которых предусматривается укладка подземных сооружений, в том числе тепловых сетей, в непроходных каналах, а также без каналов.

Наиболее целесообразно при проектировании тепловых сетей совмещать их с другими подземными коммуникациями в общем городском коллекторе (рис. 1.3).

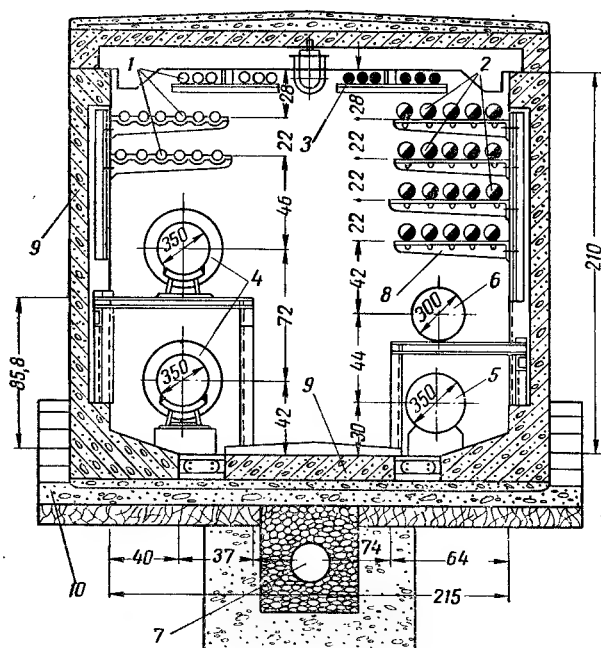


Рис. 1.3. Размещение подземных сетей в общем коллекторе

1 — кабели связи; 2 — кабели силовые; 3 — кабели внутреннего обслуживания коллектора; 4 — трубопроводы тепловой сети; 5 — водопровод; 6 — канализация; 7 — дренажная труба; 8 — металлические полочки; 9 — сборные железобетонные блоки; 10 — бетонная подготовка

На внутриквартальных территориях может быть допущено применение различных конструкций теплосети. Наиболее целесообразно применение дешевых конструкций в оболочках с минимальным заглублением теплопроводов от поверхности земли.

Эксплуатационные данные проектируемых тепловых сетей имеют значение для выбора типа и материала тепловой изоляции, а также должны учитываться при определении габаритов каналов.

Например, для тепловых сетей, работающих круглогодично, допустимо применение менее эффективной теплоизоляции и конструкций в оболочках в грунтах с повышенной влажностью. Для теплопроводов малых диаметров следует выбирать конструкции теплопроводов с наиболее эффективной теплоизоляцией.

Строительные конструкции тепловых сетей должны назначаться с учетом возможности их промышленного сооружения в зависимости от объема строительных работ по данному объекту, мощности строительно-монтажной организации и обеспеченности строительными материалами.

Необходимо учитывать время и сроки предполагаемого строительства; сжатые сроки, как правило, требуют применения наиболее промышленных конструкций тепловых сетей.

Однако не все промышленные конструкции теплопроводов должны применяться в одинаковой степени при строительстве тепловых сетей различных городов. Обычно для условий каждого города следует подобрать две-три основные конструкции теплопроводов, на которых может базироваться строительство тепловых сетей.

4. ПОКАЗАТЕЛИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ СТОИМОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Развитие теплофикации городов и промышленных предприятий требует строительства большого количества новых тепловых сетей и быстрого ввода их в эксплуатацию.

Основным вопросом строительства тепловых сетей помимо индустриализации является вопрос снижения стоимости конструкций теплопроводов. Стоимость сооружения теплопроводов весьма высока по отношению к стоимости других видов подземных сетей. Совершенствование конструкций теплопроводов с целью повышения долговечности и эксплуатационных качеств тепловых сетей идет в основном по линии их дальнейшего удорожания. Между тем большие капитальные затраты и высокая стоимость тепловых сетей в конечном итоге задерживают развитие теплофикации и снижают ее общую рентабельность. По данным табл. 1.4 можно сделать анализ стоимости тепловых сетей и указать направления, по которым должно идти удешевление конструкций теплопроводов.

Как видно из табл. 1.4, стоимость монтажных работ для труб малого диаметра (50—150 мм) относительно невелика и колеблется в пределах 14—22% общей стоимости тепловых сетей. Для труб больших диаметров (350—600 мм) она возрастает до 42—46%. Соответственно удельный вес стоимости строительных работ уменьшается с увеличением диаметра труб: для труб диаметром 50 мм стоимость строительных работ составляет 86%, а для труб диаметром 600 мм — 54%. В общей стоимости строительных работ значительный процент падает на строительные конструкции, сооружаемые по трассе теплопроводов. Стоимость

Таблица I.4

Стоимость строительных и монтажных работ
для непроходных каналов (в % от полной стоимости)

Вид работ	Стоимость работ при диаметре трубопроводов в мм			
	50	150	350	600
Строительные, по сооружению каналов и устройству тепловой изоляции	54	50	46	42
Строительные, по сооружению камер, ниш для компенсаторов и неподвижных опор	32	28	12	12
Монтажные	14	22	42	46

камер, неподвижных опор, ниш компенсаторов и прочих конструкций составляет на 1 пог. м трассы от 12 до 32% общей стоимости тепловой сети (большой процент относится к трубам малого диаметра).

Приведенные показатели указывают на большие возможности снижения общей стоимости тепловых сетей, особенно при сооружении теплопроводов малых и средних диаметров, за счет удешевления строительных работ. Необходимо отметить, что теплопроводы малых и средних диаметров составляют до 70% общей длины городских тепловых сетей.

Глава II

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИЙ
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ1. НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КОНСТРУКЦИИ
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

При проектировании и расчете строительных конструкций подземных и надземных тепловых сетей необходимо руководствоваться указаниями СНиП II-Г.10-62 «Тепловые сети. Нормы проектирования»; при проектировании строительных конструкций подземных тепловых сетей, выполняемых закрытым способом, — СНиП II-Д.3-62 «Метрополитены. Нормы проектирования».

Основные сочетания нагрузок, действующих на строительные конструкции тепловых сетей, состоят:

а) при подземной прокладке — из суммарных горизонтальных и вертикальных нагрузок от трубопроводов, нагрузок от собственного веса конструкций, вертикального и горизонтального давлений, от веса грунта, внешнего гидростатического давления грунтовых вод и временной нагрузки от подвижного состава железных дорог и колонн автомобилей;

б) при надземной прокладке — из суммарных горизонтальных и вертикальных нагрузок от трубопроводов, собственного веса конструкций, веса грунта на уступах фундаментов, ветровой нагрузки и внешней температуры.

Дополнительные сочетания при подземной и надземной прокладках состоят из постоянных, временных длительных и всех кратковременных нагрузок (при числе их не менее двух).

Особые сочетания состоят из нагрузок, входящих в дополнительные сочетания, с добавлением сейсмических воздействий.

При расчетах строительных конструкций с учетом дополнительных или особых сочетаний величины расчетных нагрузок (кроме постоянных) принимаются при учете дополнительных сочетаний с коэффициентом 0,9, а при учете особых сочетаний с коэффициентом 0,8.

Коэффициенты перегрузки для ветровой и снеговой нагрузок и для собственного веса конструкций принимаются по гла

ве СНиП II-A.11-62 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования».

При проектировании подземных сооружений тепловых сетей нормативные временные нагрузки от подвижного состава железных дорог и колонн автомобилей определяются по СНиП II-Д.7-62 «Мосты и трубы. Нормы проектирования». При этом нагрузки от подвижного состава железных дорог принимаются по классу СК с коэффициентом K , равным 14; нагрузки от колонн автомобилей — в виде нагрузки Н-30 от двух колонн, а при прокладке внутри кварталов — в виде нагрузки Н-10.

Схема нормативных подвижных нагрузок приведена на рис. II.1.

Распределение вертикальной нагрузки от колес автомобилей при заглублении верха сооружений менее 1,2 м принимается: в пределах бетонного дорожного покрытия — под углом 45° , в грунте под углом — 30° к вертикали.

При наложении друг на друга площадей давления от отдельных колес интенсивность давления принимается равной сумме отдельных интенсивностей в пределах совмещенной площади давлений. Совмещенная площадь давления (рис. II.2)

$$F = ab \text{ м}^2. \quad (\text{II.1})$$

При заглублении верха сооружений 1,2 м и более нормативная вертикальная нагрузка от колонн автомобилей принимается равной 2 т/м^2 .

Горизонтальная нагрузка (рис. II.3), действующая на подземные сооружения тепловых сетей от подвижных нормативных временных нагрузок, которые находятся в пределах призмы обрушения грунта, определяется по формуле

$$P_r = P_v \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (\text{II.2})$$

где P_r — нормативное горизонтальное давление в T на 1 м^2 вертикальной проекции сооружения;

P_v — вертикальное давление от нормативной временной нагрузки на глубине h ;

φ_n — нормативный угол внутреннего трения грунта в град, принимаемый по СНиП II-B.1-62 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования».

Коэффициент перегрузки n для подвижных временных нагрузок принимается от подвижного состава железных дорог равным 1,3, а от колонн автомобилей 1,4.

Динамический коэффициент $(1+\mu)$ для подвижных временных нагрузок при глубине заложения верха подземных сооружений тепловых сетей более 0,5 м принимается равным единице.

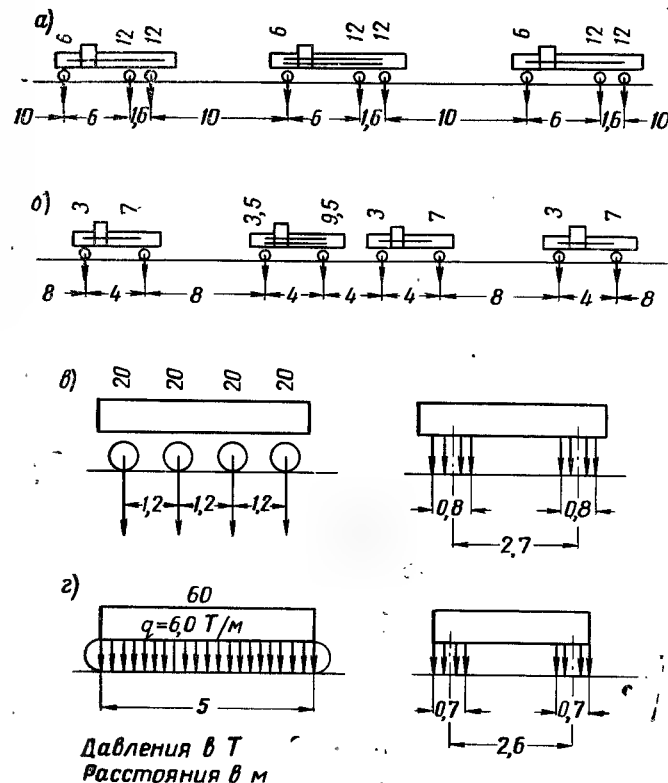


Рис. II.1. Схема нормативных подвижных нагрузок
а — от колонн автомобилей Н-30; б — от колонн автомобилей Н-10,
в — колесная НК-80; г — гусеничная НГ-60

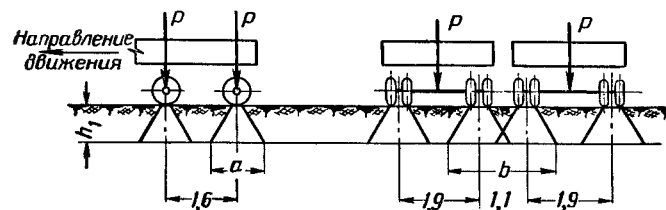


Рис. II.2. Схема распределения вертикальной нагрузки от колес автомобилей

Нормативная нагрузка от давления грунта на подземные сооружения тепловых сетей (рис. II.4) определяется по формулам:

вертикальная

$$q_v = \gamma_0 h_0; \quad (II.3)$$

горизонтальная

$$q_g = \gamma_0 h \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (II.4)$$

где q_v и q_g — вертикальная и горизонтальная нагрузки от давления грунта соответственно на горизонтальную и вертикальную проекции сооружения в T/m^2 ;

γ_0 — объемный вес грунта в T/m^3 ;

h_0 — расстояние от верха сооружения до поверхности земли в м;

h — расстояние от рассматриваемого сечения до поверхности земли в м.

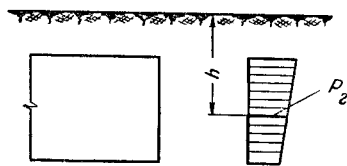


Рис. II.3. Схема горизонтальной нагрузки от транспортных единиц

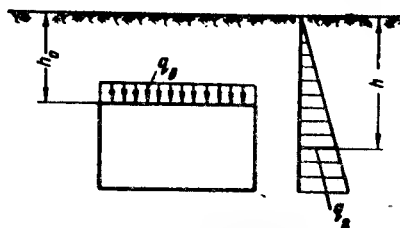


Рис. II.4. Схема нагрузок от грунта

Коэффициент перегрузки n для нагрузок от давления грунта принимается равным 1,2.

Расчет туннелей, сооружаемых способом щитовой проходки, выполняется в соответствии со СНиП II-Д.3-62. При проходке щитом в грунтах, обеспечивающих сводообразование, давление на обделку туннеля принимается от грунта, заключенного в пространстве, которое ограничивается сводом давления и плоскостями обрушения. В этом случае расстояние от вершины свода давления до дневной поверхности или до контакта со слабыми породами должно быть не менее высоты свода давления.

Размеры свода давления l (рис. II.5) определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} L &= b + 2h \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right); \\ h_1 &= \frac{L}{2f}, \end{aligned} \right\} \quad (II.5)$$

где L — пролет свода давления в м;
 b — ширина или диаметр выработки в м;
 h — высота или диаметр выработки в м;
 φ — угол внутреннего трения в град, принимаемый по данным исследований грунтов;
 h_1 — высота свода давления над верхней точкой выработки в м;

f — коэффициент крепости породы, определяемый по таблице характеристик горных пород, приведенной в СНиП II-Д.3-62.

Нормативные нагрузки от давления грунта на обделку туннеля при расчете с учетом сводообразования принимаются равномерно распределенными и определяются по формулам:

$$q_n = \gamma_0 h_1; \quad (II.6)$$

горизонтальная

$$p_n = \gamma_0 (h_1 + 0,5 h) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (II.7)$$

где q_n — нормативное вертикальное давление грунта на горизонтальную проекцию обделки туннеля в T/m^2 ;

p_n — нормативное горизонтальное давление грунта на вертикальную проекцию обделки туннеля в T/m^2 ;

γ_0 — объемный вес грунта в T/m^3 , принимаемый по фактическим данным.

Остальные обозначения — по предыдущему.

При невозможности сводообразования, а также при расстоянии от вершины свода давления до дневной поверхности или до контакта со слабыми породами менее высоты свода давления нормативное давление грунта на туннельную обделку принимается:

а) вертикальное, равное весу всей толщи грунта над туннелем до уровня дневной поверхности с учетом существующих и перспективных планировочных отметок;

б) горизонтальное по формуле

$$p_n = \gamma_0 H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (II.8)$$

где H — толщина всего вышележащего грунта, приведенная к объемному весу слоя грунта у рассматриваемого сечения, в м.

Остальные обозначения — по предыдущему.

Коэффициенты перегрузки n принимаются:

для вертикального горного давления:
от веса грунта при сводообразовании 1,5
» » всей толщи грунта над туннелем 1,1 и 0,9

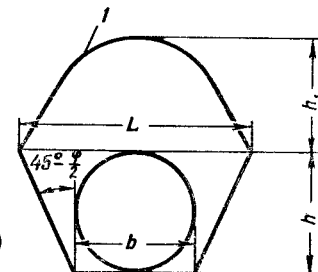


Рис. II.5. Размеры свода давления

для горизонтального активного горного давления . . . 1,2—0,8
 » гидростатического давления 1,1 и 0,9

При определении горизонтальных нагрузок на неподвижные опоры трубопроводов учитываются: а) силы трения в подвижных опорах; б) силы трения о грунт при бесканальной прокладке; в) силы упругого отпора гибких компенсаторов или трубопроводов при самокомпенсации; г) силы трения в сальниковых компенсаторах; д) неуравновешенные силы внутреннего давления при установке сальниковых компенсаторов на участках трубопроводов, имеющих запорную арматуру, переходы, углы поворота и заглушки.

При расчете неподвижных опор учитывается наибольшая горизонтальная нагрузка при различных режимах работы трубопровода, в том числе при открытых и закрытых задвижках.

При кольцевой схеме тепловых сетей учитывается возможность движения теплоносителя с любой стороны.

Боковые нагрузки на неподвижную опору учитываются при наличии поворотов трассы и ответвлений трубопровода (в месте установки опоры).

При наличии двухсторонних ответвлений боковая нагрузка на неподвижную опору учитывается только от одного ответвления (наибольшая).

Расчетные вертикальные и горизонтальные нагрузки от трубопроводов для расчетов строительных конструкций принимаются с коэффициентами перегрузки n , равными:

для вертикальных нагрузок 1,2 (0,8)*
 » горизонтальных » 1,1 (0,9)*

* Значения коэффициентов перегрузки, указанные в скобках, принимаются в тех случаях, когда уменьшение нагрузок вызывает ухудшение работы конструкций.

При проектировании траверс и ригелей под подвижными опорами надземных теплопроводов расчетные нагрузки от каждого трубопровода определяются по формулам:

вертикальная

$$P = nql; \quad (II.9)$$

горизонтальная

$$H = nfl; \quad (II.10)$$

где q — вес 1 пог. м одного трубопровода, включая вес трубы, теплоносителя и теплоизоляционной конструкции, в Т/м;

l — расстояние между опорами трубопровода в м;

n — коэффициент перегрузки для нагрузки от трубопроводов без учета нагрузки от снега и гололеда;

f — коэффициент трения, определяемый в зависимости от типа принятых подвижных опор.

При проектировании траверс и ригелей под неподвижными опорами трубопроводов учитываются следующие нагрузки: вертикальные — от веса трубопроводов, арматуры и собственного веса конструкций;

горизонтальные — от сил упругого отпора гибких компенсаторов и самокомпенсации, а также от сил трения на участке трубопроводов от неподвижной опоры до оси компенсатора.

При проектировании траверс, ригелей, пролетных строений и опор следует учитывать невыгодное загрузку при наполнении водой одного из паропроводов.

Расчетная ветровая нагрузка на 1 пог. м трубопровода определяется по формуле

$$q_{\text{вет}} = ncq_0 D_n \text{ кг}, \quad (II.11)$$

где n — коэффициент перегрузки к ветровой нагрузке, принимаемый равным 1,2;

c — аэродинамический коэффициент, принимаемый равным 1,4;

q_0 — нормативный скоростной напор ветра в кг/м²;

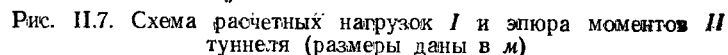
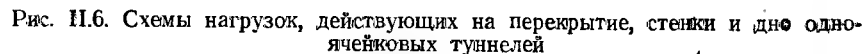
D_n — наружный диаметр покровного слоя теплоизоляционной конструкции в м.

При прокладке на эстакаде двух и более трубопроводов в каждом ярусе учитывается ветровая нагрузка, приходящаяся на трубопровод с наибольшим диаметром покровного слоя.

2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ

Проходные туннели и полупроходные каналы. Помимо расчета на эксплуатационные нагрузки сборные железобетонные элементы нуждаются в проверке прочности на действие собственного веса в процессе монтажа и при транспортировании. Однако ввиду относительно малых линейных размеров и веса сборных деталей в большинстве случаев подобная проверка не требуется. Исключение составляют сборные железобетонные мачты эстакад, колонны и стойки проходных коллекторов. Как правило, стыки железобетонных элементов сборных конструкций теплосетей замонolithicиваются до передачи на конструкции эксплуатационных расчетных нагрузок, т. е. до их засыпки грунтом. Поэтому расчетные схемы не предусматривают шарнирного членения конструкций в местах стыковых элементов, кроме сечений на стыке плит перекрытия со стенами.

Конструкции туннелей и каналов рассчитываются как двухшарнирная П-образная рама. Согласно схемам нагрузок, приведенным на рис. II.6, максимальный изгибающий момент в съемных плитах перекрытия и в днище возникает при установке задней оси автомашины над перекрытием, как это показано на схеме I.


$$= \frac{2,52 \cdot 2,08^2}{2} + \frac{(4,04 - 2,52) 2,08^2}{6} - 1,93 \cdot 2,08 = 2,54 \text{ Тм.}$$

Изгибающий момент в середине дна

$$M = \frac{q_0 l^2}{8} - M_A = \frac{7,67 \cdot 2,16^2}{8} - 2,54 = 1,94 \text{ Тм.}$$

Изгибающий момент в середине высоты стойки

$$M_{ст} = \frac{2,52 \cdot 1,04^2}{2} + \frac{(4,04 - 2,52) 0,5 \cdot 1,04^2}{6} - 1,93 \cdot 1,04 = 0,5 \text{ Тм.}$$

Изгибающий момент в середине сборной плиты перекрытия

$$M_{l/2} = \frac{ql^2}{8} = \frac{7,67 \cdot 2,1^2}{8} = 4,25 \text{ Тм.}$$

Эпюра моментов приведена на рис. II.7.

3. *Подбор арматуры.* Туннель выполняется из бетона марки 200.

Расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе $R_n = 100 \text{ кг/см}^2$, арматура класса А-II $R_a = 2700 \text{ кг/см}^2$.

Определяем сечения растянутой арматуры в пролете дна туннеля.

При рабочей высоте сечения $h_0 = 16 - 3 = 13 \text{ см}$ коэффициент равен

$$A_0 = \frac{M}{bh_0^2 R_n} = \frac{194\,000}{100 \cdot 13^2 \cdot 100} = 0,114;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,94$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{194\,000}{2700 \cdot 0,94 \cdot 13} = 5,9 \text{ см}^2.$$

Принимаем 8 Ø 10П мм ($F_a = 6,28 \text{ см}^2$).

Определяем сечение растянутой арматуры в узлах рамы:

$$A_0 = \frac{M_A}{bh_0^2 R_n} = \frac{254\,000}{100 \cdot 13^2 \cdot 100} = 0,15;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,92$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_A}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{254\,000}{2700 \cdot 0,92 \cdot 13} = 7,9 \text{ см}^2.$$

Принимаем 10 Ø 10П мм ($F_a = 7,85 \text{ см}^2$).

6 Ø 10П мм. Армирование стен производим симметричной арматурой в количестве

Определяем сечения растянутой арматуры в плите перекрытия.

При рабочей высоте плиты $h_0 = 20 - 3 = 17 \text{ см}$ коэффициент равен

$$A_0 = \frac{M_{l/2}}{bh_0^2 R_n} = \frac{425\,000}{100 \cdot 17^2 \cdot 100} = 0,147;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,92$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_{l/2}}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{425\,000}{2700 \cdot 0,92 \cdot 17} = 10,5 \text{ см}^2.$$

Принимаем 9 Ø 12П мм ($F_a = 10,18 \text{ см}^2$).

Пример расчета замкнутого прямоугольного туннеля

Туннель состоит из сборных железобетонных секций в виде замкнутых прямоугольных рам. Размеры туннеля приведены на рис. II.8. Объемный вес

грунта $\gamma_0 = 1,8 \text{ т/м}^3$; нормативный угол внутреннего трения $\varphi_n = 34^\circ$; толщина перекрытия и дна 20 см, стенок 16 см; временная нагрузка от колонн автомобилей 2 Т/м².

1. *Определение расчетных нагрузок.* Расчетная нагрузка на перекрытие туннеля складывается из веса грунта, собственного веса конструкции и временной нагрузки, умноженных на соответствующие коэффициенты перегрузки:

$$q = 1,8 \cdot 2 \cdot 1,2 + 2,5 \cdot 0,2 \cdot 1,1 + 2 \cdot 1,4 = 7,67 \text{ Т/м}^2.$$

Расчетная нагрузка на дно туннеля принимается равной $q_0 = 7,67 \text{ Т/м}^2$.

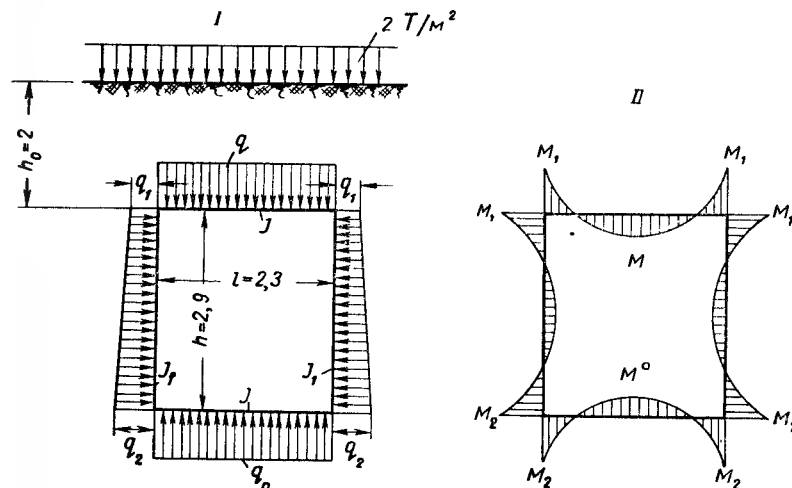


Рис. II.8. Схема расчетных нагрузок I и эпюры моментов II замкнутого туннеля (размеры даны в м)

Расчетная горизонтальная нагрузка состоит из давления грунта и давления, вызываемого временной нагрузкой на уровне: верха туннеля ($h=2,1 \text{ м}$)

$$q_1 = (1,8 \cdot 2,1 \cdot 1,2 + 2 \cdot 1,4) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 17^\circ) = 2,05 \text{ Т/м}^2;$$

низа туннеля ($h=5 \text{ м}$)

$$q_2 = (1,8 \cdot 5 \cdot 1,2 + 2 \cdot 1,4) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 17^\circ) = 3,82 \text{ Т/м}^2.$$

2. *Определение усилий.* Туннель рассчитывается как замкнутая рама по формулам, приведенным в книге Б. В. Лопатина.

Изгибающие моменты в узлах рамы

$$M_1 = \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{k(2+3k)}{n} - \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{k}{n} + \frac{q_1 h^2}{60} \times \\ \times \frac{(3+8k)}{n} + \frac{q_2 h^2}{60} \cdot \frac{(2+7k)}{n};$$

$$M_2 = \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{k(2+3k)}{n} - \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{k}{n} + \frac{q_1 h^2}{60} \cdot \frac{(2+7k)}{n} + \frac{q_2 h^2}{60} \cdot \frac{(3+8k)}{n},$$

где

$$k = \frac{lJ_1}{hJ}; \quad n = 1 + 4k + 3k^2.$$

Изгибающий момент в середине перекрытия

$$M_{l/2} = \frac{ql^2}{8} - M_1.$$

Подставляя численные значения величин, получим

$$k = \frac{2,3 \cdot 0,16^3}{2,9 \cdot 0,2^3} = 0,4; \quad n = 1 + 4 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,4^2 = 3,1;$$

$$M_1 = \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{12} \cdot \frac{0,4(2 + 3 \cdot 0,4)}{3,1} - \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{12} \cdot \frac{0,4}{3,1} + \frac{2,05 \cdot 2,9^2}{60} \times \\ \times \frac{(3 + 8 \cdot 0,4)}{3,1} + \frac{3,82 \cdot 2,9^2}{60} \cdot \frac{(2 + 7 \cdot 0,4)}{3,1} = 2,35 \text{ Тм};$$

$$M_2 = \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{12} \cdot \frac{0,4(2 + 3 \cdot 0,4)}{3,1} - \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{12} \cdot \frac{0,4}{3,1} + \frac{2,05 \cdot 2,9^2}{60} \times \\ \times \frac{(2 + 7 \cdot 0,4)}{3,1} + \frac{3,82 \cdot 2,9^2}{60} \cdot \frac{(3 + 8 \cdot 0,4)}{3,1} = 2,47 \text{ Тм};$$

$$M_{l/2} = \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{8} - 2,35 = 2,75 \text{ Тм}.$$

Изгибающий момент в днище

$$M_0 = \frac{ql^2}{8} - M_2 = \frac{7,67 \cdot 2,3^2}{8} - 2,47 = 2,63 \text{ Тм}.$$

Изгибающий момент в середине стенок

$$M_{ст} = \frac{(q_1 + q_2)h^2}{16} - \frac{M_1 + M_2}{2} = \\ = \frac{(2,05 + 3,82)2,9^2}{16} - \frac{2,35 + 2,47}{2} = 0,65 \text{ Тм}.$$

Эпюра изгибающих моментов приведена на рис. II.8.

3. **Подбор арматуры.** Туннель выполняется из бетона марки 200. Расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе $R_n = 100 \text{ кг/см}^2$, а арматуры из стали класса А-II $R_a = 2700 \text{ кг/см}^2$.

Определяем сечение растянутой арматуры в пролете перекрытия.

При рабочей высоте сечения $h_0 = 20 - 3 = 17 \text{ см}$ коэффициент равен

$$A_0 = \frac{M_{l/2}}{bh_0^2 R_n} = \frac{275000}{100 \cdot 17^2 \cdot 100} = 0,095;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,95$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_{l/2}}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{275000}{2700 \cdot 0,95 \cdot 17} = 6,32 \text{ см}^2.$$

Принимаем 8 $\varnothing 10 \text{ П мм}$ ($F_a = 6,28 \text{ см}^2$).

Такое количество арматуры принимается и для днища.

Определяем сечения арматуры в узлах рамы.

При рабочей высоте стенки $h_0 = 16 - 3 = 13 \text{ см}$ коэффициент равен

$$A_0 = \frac{247000}{100 \cdot 13^2 \cdot 100} = 0,146;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,919$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{247000}{2700 \cdot 0,919 \cdot 13} = 7,66 \text{ см}^2.$$

Принимаем 10 $\varnothing 10 \text{ П мм}$ ($F_a = 7,85 \text{ см}^2$).

Изгибающие моменты в середине стенок незначительны по величине, поэтому армирование их производится по конструктивным соображениям. Количество арматуры с внутренней стороны стенок должно быть проверено при загрузке рамы полной боковой нагрузкой при отсутствии временной нагрузки над перекрытием туннеля.

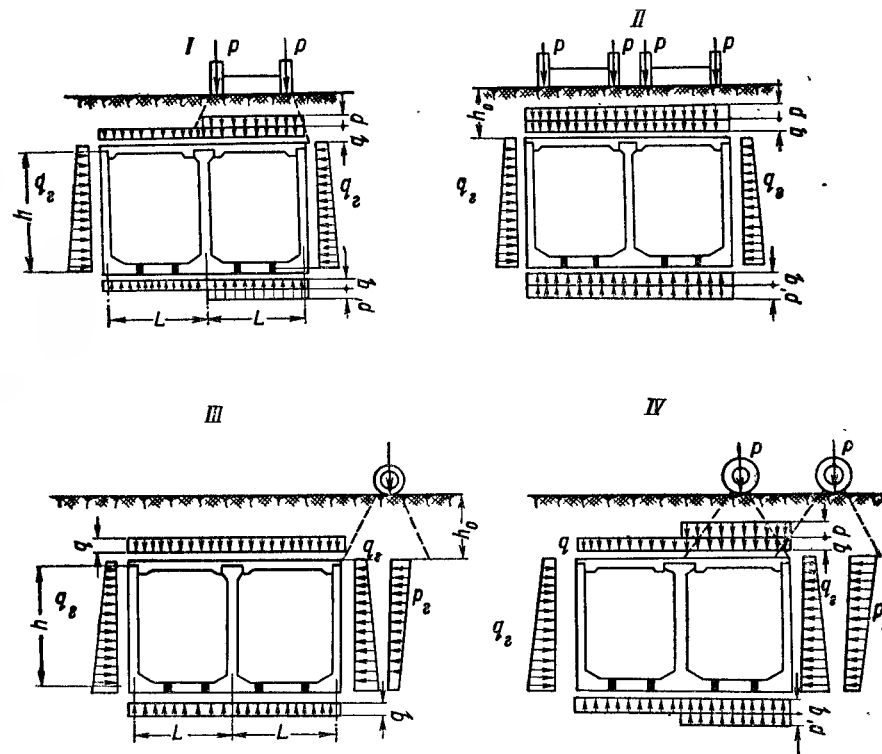


Рис. II.9. Схемы нагрузок, действующих на двухъячейковые туннели

Схемы нагрузок, действующих на двухъячейковые туннели, приведены на рис. II.9.

Размеры сечений днища и стенок и их армирование должны

определяться по максимальным величинам изгибающих моментов и нормальных сил, определяемых для наиболее невыгодной комбинации постоянных и временных нагрузок.

Расчеты перекрытия двухъячейковых туннелей ведутся по схемам I и II. Проверка прочности стенок производится при нагрузке соответствующей схеме III с установкой задней оси автомашины рядом со стенкой.

Прочность угловых сечений рамы и их армирование проверяется нагрузкой по схеме IV с одновременной установкой осей автомашин над перекрытием и на призме обрушения. При расчете должны быть проанализированы все возможные комбинации постоянных и временных нагрузок, вызывающие наибольшие напряжения в рассчитываемых сечениях конструкции.

Расчет днища производится на постоянную нагрузку, действующую на перекрытие, и на временную (p' кГ/м²), при определении которой следует учитывать распределяющее действие стенок канала. При этом предполагается, что нагрузка распределяется стенками под углом 45°.

Таким образом, нагрузка на днище p' кГ/м² будет меньше временной нагрузки, действующей на перекрытие p кГ/м², пропорционально отношению $\frac{b}{b+2h}$, т. е.

$$p' = p \frac{b}{b+2h}, \quad (\text{II.12})$$

где b — ширина полосы загрузки перекрытия временной нагрузкой вдоль оси канала в м;

h — полная высота канала или туннеля по наружному габариту в м.

Пример расчета двухъячейкового канала

Сборный двухъячейковый канал состоит из плиты днища, двух полурам и стойки. Размеры канала приведены на рис. II.10. Объемный вес грунта $\gamma_0 = 1,7$ т/м³; нормативный угол внутреннего трения $\varphi_n = 30^\circ$; толщина перекрытия и стенок 12 см.

Временная подвижная нагрузка принимается в виде нагрузки НК-80.

1. *Определение расчетных нагрузок.* Расчетная вертикальная нагрузка: от давления грунта на перекрытие канала

$$q_1^p = \gamma_0 h_0 n = 1,7 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 2,04 \text{ Т/м}^2;$$

от собственного веса конструкции

$$p_{с.в} = 0,12 \cdot 2,6 \cdot 1,1 + 0,06 \cdot 2,4 \cdot 1,5 = 0,57 \text{ Т/м}^2.$$

Здесь учтены собственный вес перекрытия и защитного слоя с соответствующими коэффициентами перегрузки.

Нормативное вертикальное давление на перекрытие канала от временной нагрузки при высоте засыпки $h_0 = 1$ м, согласно СН 200—62,

$$p_в = \frac{19}{h_0 + 3} = \frac{19}{1 + 3} = 4,75 \text{ Т/м}^2.$$

Динамический коэффициент при слое засыпки более 0,5 м равен единице.

Расчетная вертикальная нагрузка на перекрытие канала

$$q_1 = q_1^p + p_{с.в} + p_в n = 2,04 + 0,57 + 4,75 \cdot 1,1 \approx 8 \text{ Т/м}^2.$$

Расчетная горизонтальная нагрузка от давления грунта на уровне середины стенки канала

$$q_г = 0,334 \cdot 1,7 \cdot 2,1 \cdot 1,2 = 1,4 \text{ Т/м}^2.$$

Расчетное горизонтальное давление на уровне середины стенки канала от временной вертикальной нагрузки

$$q_в = 0,334 \frac{19}{2,1 + 3} 1,1 = 1,37 \text{ Т/м}^2.$$

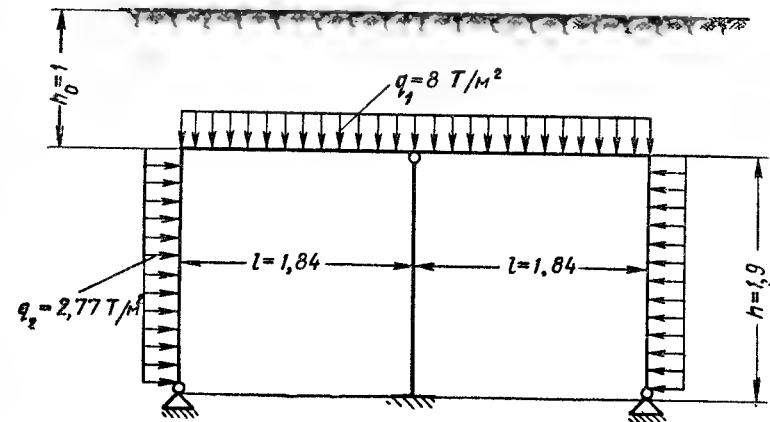


Рис. II.10. Схема расчетных нагрузок двухъячейкового канала (размеры даны в м)

Расчетная горизонтальная нагрузка на уровне середины стенки канала

$$q_2 = 1,4 + 1,37 = 2,77 \text{ Т/м}^2.$$

2. *Определение усилий.* Для определения усилий рассматриваем отдельную полураму с шарнирно неподвижными концами (рис. II.11).

Горизонтальный распор в нижнем шарнире

$$H = \frac{3q_2 h^3 + 4q_2 h^2 l - q_1 l^3}{8h(h+l)}.$$

Вертикальная реакция в верхнем шарнире

$$R = \frac{3q_1 l^3 + 4q_1 l^2 h - q_2 h^3}{8l(h+l)}.$$

Изгибающий момент в узле рамы

$$M_в = - \frac{q_1 l^3 + q_2 h^3}{8(h+l)}.$$

Наибольшие положительные изгибающие моменты в перекрытии и стенке канала равны

$$M_1 = \frac{R^2}{2q_1}; \quad M_2 = \frac{H^2}{2q_2}.$$

Они находятся на расстояниях от соответствующих шарниров:

$$x_0 = \frac{R}{q_1}; \quad y_0 = \frac{H}{q_2}.$$

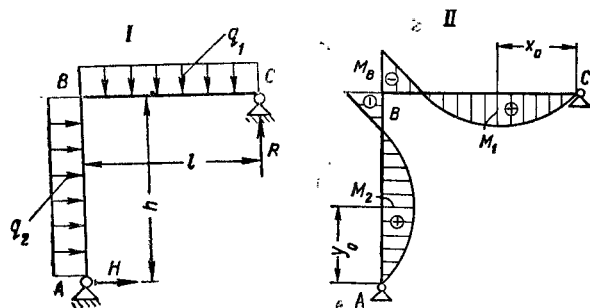


Рис. 11.11. Схема расчетных нагрузок I и эпюра моментов II полурамы

Подставляя численные значения, получим

$$H = \frac{3 \cdot 2,77 \cdot 1,9^3 + 4 \cdot 2,77 \cdot 1,9^2 \cdot 1,84 - 8 \cdot 1,84^3}{8 \cdot 1,9 (1,9 + 1,84)} = 1,42 \text{ Т};$$

$$R = \frac{3 \cdot 8 \cdot 1,84^3 + 4 \cdot 8 \cdot 1,84^2 \cdot 1,9 - 2,77 \cdot 1,9^3}{8 \cdot 1,84 (1,9 + 1,84)} = 6,12 \text{ Т};$$

$$M_B = - \frac{8 \cdot 1,84^3 + 2,77 \cdot 1,9^3}{8 (1,9 + 1,84)} = -2,3 \text{ Тм};$$

$$M_1 = \frac{6,12^2}{2 \cdot 8} = 2,34 \text{ Тм};$$

$$M_2 = \frac{1,42^2}{2 \cdot 2,77} = 0,36 \text{ Тм}.$$

Эпюра изгибающих моментов приведена на рис. 11.11.

3. Подбор арматуры. Канал выполняется из бетона марки 200.

Расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе $R_n = 100 \text{ кг/см}^2$, арматуры горячекатаной периодического профиля класса А-II $R_a = 2700 \text{ кг/см}^2$.

Определяем сечения растянутой арматуры в пролете перекрытия. При рабочей высоте сечения $h_0 = 12 - 3 = 9 \text{ см}$ коэффициент равен

$$A_0 = \frac{M_1}{bh_0^2 R_n} = \frac{234000}{100 \cdot 9^2 \cdot 100} = 0,289;$$

по приложению 1 $\gamma_0 = 0,825$. Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_1}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{234000}{2700 \cdot 0,825 \cdot 9} = 11,7 \text{ см}^2.$$

Принимаем 10 $\varnothing 12 \text{ П.м.}$ ($F_a = 11,31 \text{ см}^2$). Такое же количество арматуры принимается и в узле рамы ввиду равенства изгибающих моментов.

Определяем сечения арматуры в стенке канала.

При рабочей высоте стенки $h_0 = 12 - 3 = 9 \text{ см}$ коэффициент

$$A_0 = \frac{M_2}{bh_0^2 R_n} = \frac{36000}{100 \cdot 9^2 \cdot 100} = 0,045;$$

по приложению 1 $\gamma_0 = 0,977$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_2}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{36000}{2700 \cdot 0,977 \cdot 9} = 1,52 \text{ см}^2.$$

Принимаем 6 $\varnothing 6 \text{ П.м.}$ ($F_a = 1,7 \text{ см}^2$).

Перекрытия каналов и камер. Однопролетные плиты и балки сборных перекрытий в зависимости от величины перекрываемого пролета и при незначительном заглублении от поверхности грунта испытывают наибольшие напряжения при загрузении по одному из трех способов, приведенных на рис. 11.12.

$$\text{Схема I} \left(M_{L/2} = \frac{qL^2}{8} + \frac{paL}{4} - \frac{pa^2}{8} \right)$$

соответствует установке одного из задних колес утяжеленной автомашины (предусмотренной схемой нагрузок Н-30) над серединой пролета.

На распределение нагрузок по схеме

$$\text{II} \left(M_{L/2} = \frac{qL^2}{8} + \frac{paL}{2} - 0,85 \text{ pa} \right)$$

должны рассчитываться плиты и балки с величиной пролета, позволяющей разместить одновременно два колеса задней оси автомашины с расстоянием между осями колес 1,9 м. Наибольший изгибающий момент $\left(M_{L/2} = \frac{qL^2}{8} + \frac{paL}{2} - 0,55 \text{ pa} \right)$ будет наблюдаться при установке над плитой двух колес от двух автомашин, установленных рядом, с расстоянием между осями колес 1,1 м (схема III).

Сводчатые каналы. Железобетонные сводчатые каналы рассчитываются как двухшарнирные арки полуциркулярного очертания. Сводчатый канал рассчитывается как двухшарнирная арка с распором при условии устройства фундаментной плиты, связывающей опоры и обеспечивающей восприятие горизонтальных усилий.

При установке железобетонных сводов непосредственно на грунт или бетонную подготовку расчет конструкции производится как безраспорной арки.

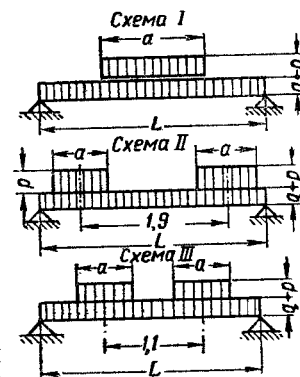


Рис. 11.12. Схема нагрузок на однопролетные плиты и балки

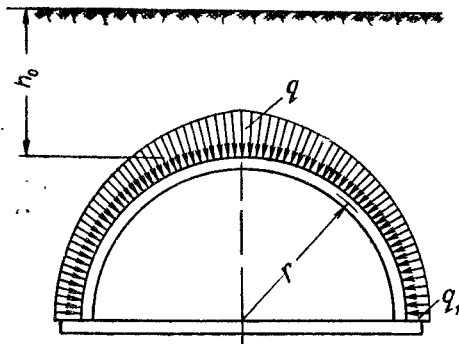


Рис. II.13. Схема нагрузки, действующей на сводчатый канал

Схема нагрузки, действующей на сводчатый канал, приведена на рис. II.13.

Пример расчета сводчатого канала

Канал состоит из сборных железобетонных сводов радиусом $r = 0,8$ м. Толщина стенки свода 10 см. Своды устанавливаются на бетонную подготовку. Заглубление верха канала от поверхности проезда 1 м (толщина дорожного покрытия 0,25 м; толщина слоя грунта 0,75 м).

Объемный вес грунта $1,8$ т/м³ и дорожного покрытия $2,4$ т/м³; нормативный угол внутреннего трения грунта $\varphi_n = 30^\circ$.

Временная нормативная нагрузка принимается в виде нагрузки Н-30 от двух колонн автомобилей. Распределение вертикальной нагрузки от колес автомобилей принимается в пределах бетонного дорожного покрытия под углом 45° , а в грунте — под углом 30° к вертикали. Схема распределения нагрузки от двух задних колес автомобиля приведена на рис. II.14.

1. *Определение расчетных нагрузок.* Вертикальное давление от расчетной временной нагрузки на уровне верха свода

$$p_B^p = \frac{\Sigma P}{ab} n = \frac{12 \cdot 1,4}{1,56 \cdot 3,06} = 3,5 \text{ Т/м}^2.$$

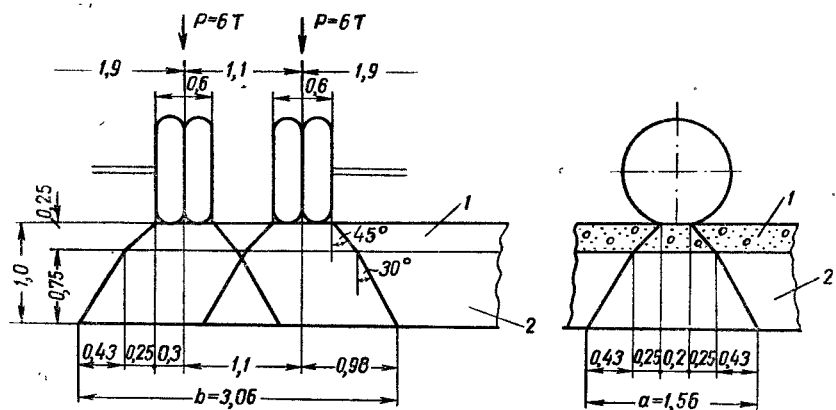


Рис. II.14. Схема распределения нагрузки от колес автомобиля
1 — дорожное покрытие; 2 — грунт

Динамический коэффициент равен единице. Расчетная вертикальная нагрузка от веса грунта и дорожной одежды на уровне верха свода

$$q_B^p = 1,8 \cdot 0,75 \cdot 1,2 + 2,4 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 1,62 + 0,9 = 2,52 \text{ Т/м}^2.$$

Расчетная вертикальная нагрузка в верхней точке свода

$$q = 3,5 + 2,52 = 6,02 \text{ Т/м}^2.$$

Горизонтальное давление на уровне пят свода (на глубине 1,85 м) определяется при нормативной временной нагрузке от колонн автомобилей, равной 2 Т/м².

Расчетная горизонтальная нагрузка на уровне пят свода

$$q_1 = [1,8 \cdot 1,2 \cdot 1,6 + 2,4 \cdot 1,5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 1,4] \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 15^\circ) = 2,39 \text{ Т/м}^2.$$

Коэффициент неравномерности

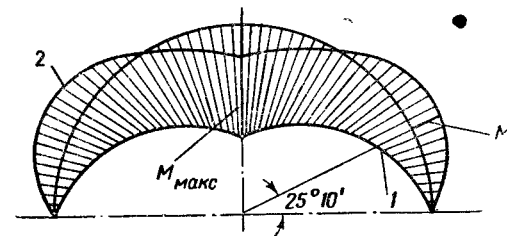
$$k = \frac{q_1}{q} = \frac{2,39}{6,02} = 0,4.$$

2. *Определение усилий.* Поскольку свод опирается на бетонную подготовку и неподвижность опор не может быть обеспечена, конструкция рассчитывается как безраспорная.

Максимальный изгибающий момент возникает в ключе свода (рис. II.15)

$$M_{\max} = 0,273 q r^2 (1 - k) = 0,273 \cdot 6,02 \cdot 0,8^2 (1 - 0,4) = 0,63 \text{ Тм}.$$

Рис. II.15. Эпюры изгибающих моментов свода
1 — без учета распора; 2 — с учетом распора



Задаемся толщиной свода 10 см. Полезная высота сечения свода $h_0 = 10 - 2,5 = 7,5$ см.

По рекомендации Б. В. Лопатина, армирование наружной стороны свода следует производить по моменту, найденному в своде как в распорной системе. Этот изгибающий момент

$$M = -0,048 (1 - k) q r^2 = -0,048 (1 - 0,4) 6,02 \cdot 0,8^2 = -0,11 \text{ Тм}.$$

3. *Подбор арматуры.* Свод выполняется из бетона М-200. Расчетное сопротивление бетона $R_n = 100$ кг/см²; арматуры из стали класса А-I $R_a = 2100$ кг/см².

Определим сечение растянутой арматуры в ключе свода.

При рабочей высоте сечения свода $h_0 = 10 - 2,5 = 7,5$ см коэффициент

$$A_0 = \frac{M_{\max}}{b h_0^2 R_n} = \frac{63000}{100 \cdot 7,5^2 \cdot 100} = 0,112;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,94$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_{\max}}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{63000}{2100 \cdot 0,94 \cdot 7,5} = 4,3 \text{ см}^2.$$

Принимаем $9 \varnothing 10 \text{ мм}$ ($F_a = 4,52 \text{ см}^2$).
 Определяем сечение арматуры по наружной стороне свода.
 При рабочей высоте сечения $h_0 = 7,5 \text{ см}$

$$A_0 = \frac{M}{bh_0^2 R_{\text{и}}} = \frac{11\,000}{100 \cdot 7,5^2 \cdot 100} = 0,0195;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,99$.
 Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{11\,000}{2100 \cdot 0,99 \cdot 7,5} = 0,7 \text{ см}^2.$$

Принимаем $5 \varnothing 5 \text{ мм}$.

Цилиндрические оболочки. Теплопроводы могут прокладываться в оболочках из железобетона или других материалов. Часто используются длинномерные железобетонные трубы заводского изготовления. Для расчета оболочек можно рекомендовать метод, разработанный Б. В. Лопатиным, как достаточно простой и в то же время теоретически и экспериментально обоснованный. Цилиндрические оболочки, уложенные на дно траншеи и засыпанные грунтом, воспринимают активное давление насыпи и реактивное сопротивление постели (рис. II.16). При этом образуются две не равные по величине зоны давления, разграниченные нулевыми точками. Угол α , определяющий положение нулевых точек, называемый углом постели, практически изменяется в пределах $20-40^\circ$. Величина угла постели зависит от способа укладки оболочки в траншею и от плотности грунта. Наибольшее активное давление в верхней точке оболочки складывается из веса грунта и временной подвижной нагрузки. Наибольший по абсолютной величине изгибающий момент возникает всегда в нижнем сечении оболочки.

Отдельно стоящие мачты для подвижных опор трубопроводов рассчитываются как внецентренно сжатые колонны с одним жестко заделанным, а с другим консольным концами. Нагрузка от сил трения в опорах ($\pm P_{\text{тр}}$) действует на мачты вдоль оси трубопроводов; ветровая нагрузка — в плоскости, перпендикулярной оси труб. На рис. II.17 приведена схема нагрузок, действующих на отдельно стоящую мачту для подвижных опор трубопроводов. Расчетными усилиями являются: вес трубопроводов, сложенный с собственным весом мачты (условно приложенный в верхнем сечении), сила трения в опорах ($\pm P_{\text{тр}}$), ветровая нагрузка на трубы ($\pm P_{\text{в.т}}$) и ветровая нагрузка на мачту ($\pm q_{\text{в.м}}$).

Максимальный изгибающий момент возникает в мачте у заделки ее в фундаменте. Мачта должна быть рассчитана на одновременное действие изгибающих моментов в двух перпендикулярных плоскостях.

Двухстоечные мачты для подвижных опор трубопроводов. При расчете конструкция мачты расчленяется на отдельные статически определимые расчетные элементы: колонны, которые рассчитываются на нагрузки, приведенные на рис. II.18; ригель,

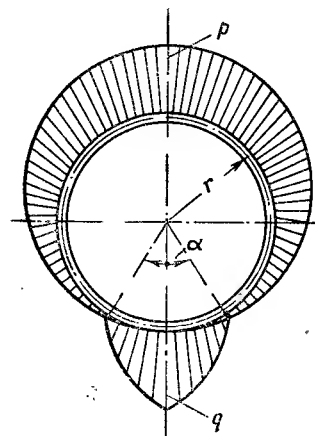


Рис. II.16. Схема нагрузки, действующей на цилиндрическую оболочку

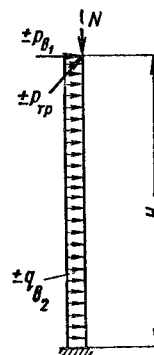


Рис. II.17. Схема нагрузок, действующих на отдельно стоящую мачту

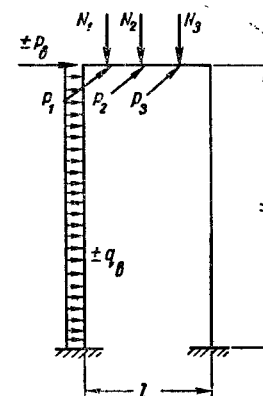


Рис. II.18. Схема нагрузок, действующих на двухстоечную мачту для подвижных опор трубопроводов

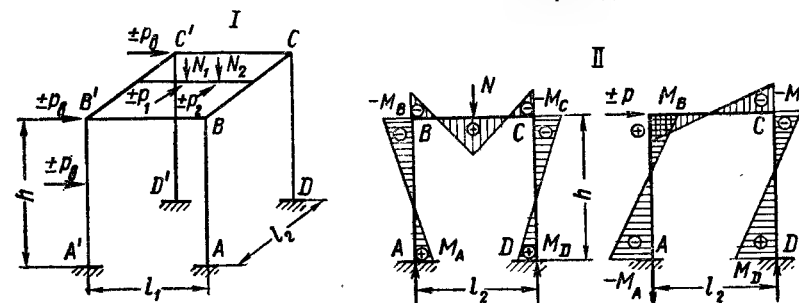


Рис. II.19. Схема нагрузки I и эпюры изгибающих моментов II для неподвижных опор четырехстоечных мачт

рассчитываемый на одновременное действие вертикальных сил N_1, N_2, N_3 и горизонтальной нагрузки от сил трения в опорах $\pm P_1, \pm P_2$ и $\pm P_3$. Ригель рассчитывается как свободно лежащая балка на двух опорах в том случае, если угловые соединения выполняются нежесткими.

Рамная конструкция с жесткими углами требует обязательного стыкования арматуры колонн с арматурой балки. Этот тип соединения становится целесообразным только при действии больших горизонтальных нагрузок, действующих в плоскости П-образной рамы, и больших вертикальных нагрузок, которые приводят к чрезмерному утяжелению балки.

Схемы нагрузок, действующих на мачты с подвесным пролетным строением при прокладке теплопроводов, отличаются от приведенных выше только горизонтально направленными усилиями, передаваемыми тягами, которые прикреплены к верхушкам мачт.

Четырехстоечные мачты для неподвижно закрепленных опор трубопроводов. Четырехстоечные мачты (рис. II.19) выполняют рамной пространственной конструкции с жесткими соединениями в углах, поэтому они рассчитываются как статически неопределимые системы.

Соединения колонн с фундаментами в большинстве случаев выполняются также жесткими, однако вполне возможно, а в некоторых случаях даже рационально применять шарнирное соединение, которое позволяет уменьшить размеры фундаментов. При действии выдергивающих усилий необходимо особенно надежное замоноличивание стыковых соединений колонн с фундаментом.

Для упрощения расчета пространственная конструкция рассматривается как состоящая из двух плоских П-образных рам, которые могут быть одноярусными или двухъярусными. Размеры сечений элементов мачт изменяются в довольно широких пределах и зависят главным образом от величины нагрузки, передаваемой на неподвижные крепления трубопроводов. Для увеличения устойчивости мачт при действии сил опрокидывания и снижения усилий, передаваемых на фундаменты, расстояние между стойками рамы не следует делать менее 1,5—2 м.

Неподвижное крепление трубопроводов целесообразно осуществлять к специальной балке, расположенной поперек оси труб (см. расчетную схему нагрузок, рис. II.19). Концы этой балки жестко заделываются в ригелях рам, на которые передаются усилия от трубопроводов — горизонтальное P и вертикальное N .

Вследствие относительно большой величины осевых усилий P , передаваемых на неподвижные опоры, и их приложения на высоте 5—6 м от плоскости опирания стоек рам вертикальные составляющие опорных реакций от усилия P могут в несколько раз превышать опорные реакции от вертикальных нагрузок. По-

этому в большинстве случаев одна из стоек рамы работает на выдергивающее усилие (из фундамента), а другая — на сжатие. Выдергивающее усилие должно быть уравновешено сопротивлением анкерного фундамента. Так как направление усилий в трубах меняется в зависимости от их нагревания или охлаждения, то при вычислении величин изгибающих моментов в углах рамы от двух основных нагрузок (вертикальных и горизонтальных) следует суммировать моменты положительного знака для опорных сечений в точках A и моменты отрицательного знака для сечений в точках B и C (см. рис. II.19).

Пример расчета железобетонной мачты

Мачта предназначена для надземной прокладки двух теплопроводов и выполняется из сборного железобетона.

Основные расчетные данные: пролет между мачтами $l = 20$ м; высота мачты $H = 6,2$ м; диаметр теплопровода $d_v = 1200$ мм; диаметр теплопровода с изоляцией $D_{\text{и}} = 1400$ мм; вес 1 пог. м одной трубы (с водой и изоляцией) $p = 1,76$ т; давление ветра $q_0 = 27$ кг/м²; опоры труб — катковые; опоры мачты — железобетонные фундаменты.

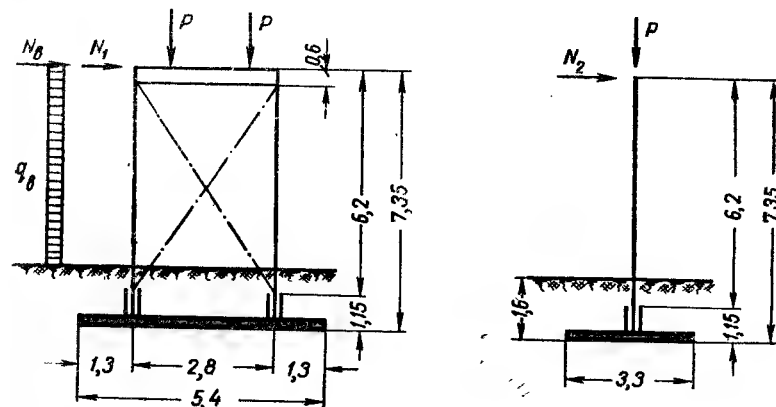


Рис. II.20. Расчетная схема мачты

Основные размеры элементов мачты приняты: сечение колонн и ригеля $b \times h_k = 40 \times 60$ см; размеры фундаментов мачты $3,3 \times 5,4$ м.

Мачты выполняются из бетона марки 200 с $R_n = 100$ кг/см². Арматура горячекатаная класса А-II с $R_a = 2700$ кг/см². Расчетная схема мачты приведена на рис. II.20.

1. *Определение расчетных усилий, действующих на мачту.* Вертикальное давление на опору от одной трубы

$$P = 1,76 : 20 : 1,2 = 42,5 \text{ Т.}$$

Вес ригеля

$$2,5 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 3,2 \cdot 1,1 = 2,1 \text{ Т.}$$

Вес колонны

$$2,5 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 5,6 \cdot 1,1 = 3,7 \text{ Т.}$$

Горизонтальное усилие трения поперек оси трубопровода от одной трубы

$$N_1 = fp \ln = 0,3 \cdot 1,76 \cdot 20 \cdot 1,1 = 11,5 \text{ Т},$$

где f — коэффициент трения для скользящих опор.

Горизонтальное усилие трения вдоль оси трубопровода от одной трубы

$$N_2 = fp'n = 0,1 \cdot 1,76 \cdot 20 \cdot 1,1 = 3,9 \text{ Т}.$$

где f — коэффициент трения для катковых опор.

Ветровая нагрузка на опору от трубы

$$N_B = q_0 c D_n \ln = 0,027 \cdot 1,4 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,2 = 1,28 \text{ Т}.$$

Распределенная ветровая нагрузка по высоте колонны

$$q_B = q_0 c h_k n = 0,027 \cdot 1,4 \cdot 0,6 \cdot 1,2 = 0,028 \text{ Т/м}.$$

2. Расчет колонны в направлении оси трубопровода на внецентренную нагрузку. Расчетная нагрузка P_p складывается из веса трубы, веса ригеля и колонны:

$$P_p = 42,5 + \frac{2 \cdot 1}{2} + 3,7 = 47,25 \text{ Т}.$$

Расчетный изгибающий момент

$$M_x = N_2 H = 3,9 \cdot 6,2 = 24,2 \text{ Тм}.$$

Расчетная длина колонны

$$l_0 = 2(H - h_k) = 2(6,2 - 0,6) = 11,2 \text{ м}.$$

Гибкость колонны

$$\lambda = \frac{l_0}{h_k} = \frac{11,2}{0,6} = 18,7 > 10.$$

Следовательно, при расчете нужно учитывать гибкость колонны.

Усилия трения теплопроводов имеют различные направления при нагревании и охлаждении, поэтому сечение арматуры принимается симметричным. Определение количества арматуры можно производить, например, по формулам и таблицам для внецентренного сжатия.

Принятое количество арматуры должно быть проверено при расчете колонны на кривой изгиб.

3. Расчет фундамента. Полная нагрузка на фундамент N_Φ складывается из собственного веса двух труб, веса колонн, ригеля, фундамента и грунта на обрезах фундамента.

Вес фундамента 22 т.

Вес грунта на обрезах фундамента 41 т.

Полная нагрузка на фундамент

$$N_\Phi = 42,5 \cdot 2 + 3,7 \cdot 2 + 2,1 + 22 + 41 = 157,5 \text{ Т}.$$

Изгибающие моменты, действующие на фундамент:

$$M_x = 2N_2 H = 2 \cdot 3,9 \cdot 7,35 = 57,3 \text{ Тм};$$

$$M_y = 2N_1 H = 2 \cdot 11,5 \cdot 7,35 = 169 \text{ Тм}.$$

Максимальное напряжение в грунте при действии моментов в двух направлениях

$$\sigma_{\max} = \frac{N_\Phi}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{157,5}{5,4 \cdot 3,3} + \frac{6 \cdot 57,3}{5,4 \cdot 3,3^2} + \frac{6 \cdot 169}{3,3 \cdot 5,4^2} = 25,1 \text{ Т/м}^2 \text{ (2,51 кг/см}^2\text{)}.$$

Грунт — песок средней крупности и средней плотности с $R_n = 2,5 \text{ кг/см}^2$

$$1,2R_n = 1,2 \cdot 2,5 = 3 \text{ кг/см}^2 > 2,51 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка фундамента на отрыв в направлении оси трубопровода:

$$\sigma_x = \frac{N_\Phi}{F} \pm \frac{M_x}{W_x} = \frac{157,5}{5,4 \cdot 3,3} \pm \frac{6 \cdot 57,3}{5,4 \cdot 3,3^2};$$

$$\sigma_{\max}^x = 14,6 \text{ Т/м}^2; \quad \sigma_{\min}^x = 3 \text{ Т/м}^2,$$

т. е. отрыв отсутствует.

Проверка фундамента на отрыв поперек оси трубопровода:

$$\sigma_y = \frac{N_\Phi}{F} \pm \frac{M_y}{W_y} = \frac{157,5}{5,4 \cdot 3,3} \pm \frac{6 \cdot 169}{3,3 \cdot 5,4^2};$$

$$\sigma_{\max}^y = 19,3 \text{ Т/м}^2; \quad \sigma_{\min}^y = -1,7 \text{ Т/м}^2,$$

т. е. отрыв имеет место, но зона отрыва

$$y = \frac{5,4 \cdot 1,7}{19,3 + 1,7} = 0,44 \text{ м} < 0,2 \cdot 5,4 = 1,08 \text{ м}.$$

4. Подбор арматуры. Определяем сечение арматуры из условия, что $\sigma_{\max} = 25,1 \text{ Т/м}^2$ действует по всей плоскости фундамента. Тогда изгибающий момент в сечении I—I (рис. 11.21) на 1 пог. м ширины будет

$$M_1 = 25,1 \frac{(1,65 - 0,3)^2}{2} = 22,8 \text{ Тм}.$$

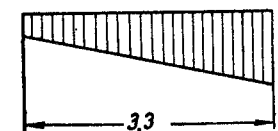
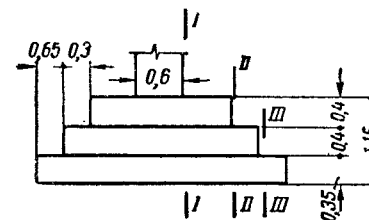


Рис. 11.21. Схема фундамента мачты

При рабочей высоте сечения $h_0 = 115 - 5 = 110 \text{ см}$ коэффициент

$$A_0 = \frac{M_1}{bh_0^2 R_n} = \frac{2280000}{100 \cdot 110^2 \cdot 100} = 0,019;$$

по приложению I $\gamma_0 = 0,99$.

Требуемое сечение арматуры

$$F_a = \frac{M_1}{R_a \gamma_0 h_0} = \frac{2280000}{2700 \cdot 0,99 \cdot 110} = 7,8 \text{ см}^2.$$

Принимаем $7 \text{ } \varnothing 12 \text{ П мм}$ ($F_a = 7,91 \text{ см}^2$).

Таким же образом производится подбор арматуры для сечений II—II и III—III. Фундамент армируется сеткой по максимальному значению F_a .

Расчет на устойчивость против опрокидывания ведется по условию

$$\frac{M_{\text{опр}}}{M_{\text{уд}}} = \frac{\sum P_i l_i + \sum N_i h_i}{y \sum P_i} < m,$$

где $\sum P_i$ — сумма составляющих всех активных сил, перпендикулярных проверяемому сечению;

$\sum N_i$ — сумма составляющих всех активных сил, параллельных проверяемому сечению и перпендикулярных оси опрокидывания;

l_i и h_i — плечи сил P_i и N_i относительно центра тяжести проверяемого сечения;

y — расстояние от центра тяжести сечения до оси опрокидывания;

m — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,7.

Составляющие активных сил, перпендикулярных сечению:

вес колонн $P_1 = 3,7 \cdot 2 = 7,4 \text{ т}$;

вес ригеля $P_2 = 2,1 \text{ т}$;

вес фундамента $P_3 = 22 \text{ т}$;

вес двух труб $P_4 = 42,5 \cdot 2 = 85 \text{ т}$.

Составляющие активных сил, параллельных сечению:

сила трения вдоль оси труб $2N_2 = 3,9 \cdot 2 = 7,8 \text{ Т}$;

сила трения поперек оси труб $2N_1 = 11,5 \cdot 2 = 23 \text{ Т}$.

Тогда

$$\frac{M_{\text{опр}}^x}{M_{\text{уд}}} = \frac{7,8 \cdot 7,35}{1,65 (7,4 + 2,1 + 22 + 85)} = 0,3 < 0,7$$

$$\frac{M_{\text{опр}}^y}{M_{\text{уд}}} = \frac{23 \cdot 7,35}{2,7 (7,4 + 2,1 + 22 + 85)} = 0,535 < 0,7.$$

Глава III

КОНСТРУКЦИИ СБОРНЫХ НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛОВ

1. КАНАЛЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СО СБОРНЫМИ БЕТОННЫМИ СТЕНКАМИ

Наиболее простая конструкция непроходных сборных прямоугольных каналов состоит из бетонных блоков и железобетонных плоских плит перекрытия (рис. III.1).

В табл. III.1 приведены основные показатели по этим каналам.

Стеновые блоки изготовляются сплошными или с вертикальными цилиндрическими пустотами. Блоки с цилиндрическими пустотами, несмотря на некоторую экономичность (по расходу бетона) по сравнению со сплошными, применяются сравнительно редко ввиду сложности изготовления. В торцах блоков устраиваются треугольные пазы, служащие для заливки раствора при стыковании блоков.

Длина блоков принимается равной 1 м, высота определяется габаритами канала, а толщина блока — из расчета на прочность; железобетонные плиты перекрытия каналов принимаются шириной от 0,5 до 1 м и длиной в зависимости от ширины канала.

Проектным институтом Промстройпроект разработаны типовые чертежи непроходных каналов с бетонными стенками для

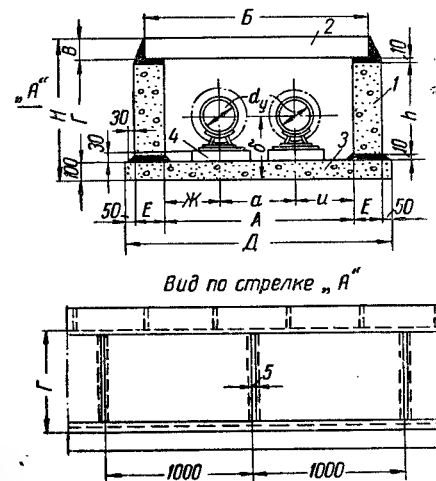


Рис. III.1. Непроходной канал со сборными бетонными стенками

1 — стеновые блоки; 2 — сборные железобетонные плиты; 3 — бетонное основание (дно канала); 4 — опорная плита под скользящую опору

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходного канала из бетонных блоков

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Размеры в мм										Расход материалов в m^3				Рас. Олоки	
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	а	и	h	Н	б	бетона			
													М-200 (перекрытия)	М-100 (стенные блоки)		М-75 (основание)
25	550	750	60	310	890	120	155	240	155	290	470	225	0,044	0,07	0,089	80
32	550	750	60	310	890	120	155	240	155	290	470	230	0,044	0,07	0,089	80
40	600	750	60	310	940	120	180	240	180	290	470	235	0,044	0,07	0,094	80
50	600	750	60	385	940	120	180	240	180	365	535	290	0,044	0,088	0,094	101
80	700	850	70	385	1040	120	195	280	225	365	555	305	0,058	0,088	0,104	101
100	800	950	70	460	1140	120	225	320	255	440	630	320	0,064	0,106	0,114	122
125	800	950	70	460	1140	120	205	360	235	440	630	335	0,064	0,106	0,114	122
150	900	1050	80	460	1240	120	235	400	265	440	640	350	0,082	0,106	0,124	122
200	1100	1300	100	535	1440	120	305	460	335	515	735	380	0,128	0,124	0,144	142
250	1200	1400	100	610	1540	120	325	520	355	590	810	420	0,138	0,142	0,154	163
300	1300	1500	120	685	1760	160	345	580	375	665	905	440	0,177	0,212	0,176	244
350	1400	1600	120	760	1820	160	360	650	390	740	980	470	0,186	0,236	0,182	272
400	1600	1800	130	760	2020	160	425	720	455	740	990	500	0,226	0,236	0,202	272
450	1700	1900	140	833	2120	160	440	790	470	815	1075	540	0,258	0,26	0,212	299
500	1800	2000	160	985	2300	200	455	860	485	963	1245	570	0,31	0,384	0,23	442
600	2050	2400	170	1060	2550	200	510	1000	540	1040	1270	620	0,41	0,414	0,255	476
700	2250	2650	180	1140	2850	250	560	1100	590	1120	1420	680	0,48	0,56	0,285	644

непресадочных грунтов (вне зоны грунтовых вод); Мосэнерго-проектом — типовые чертежи таких же каналов применительно к двухтрубным теплопроводам с подвесной теплоизоляцией. Конструкция сборных непроходных каналов с бетонными блоками может быть применена и в зоне грунтовых вод при условии устройства попутного дренажа (рис. III.2 и табл. III.2).

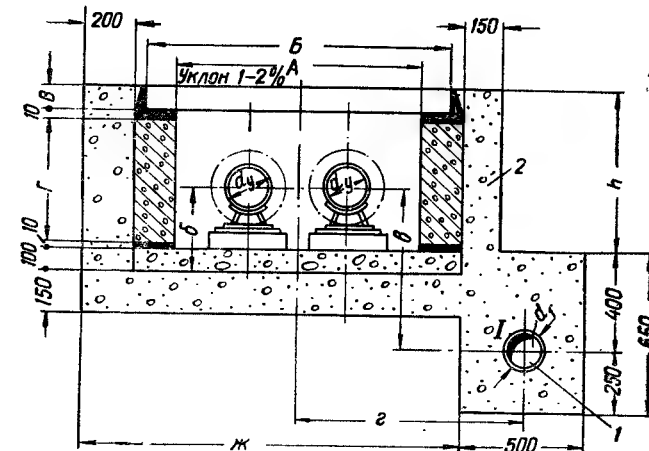


Рис. III.2. Непроходной сборный канал с дренажем
1 — дренажная труба диаметром 150—200 мм; 2 — обратный фильтр

Таблица III.2

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходного канала с дренажем

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Размеры в мм			Объем обратного фильтра в м ³
	а	в	г	
25	1245	525	900	0,66
32	1245	530	900	0,66
40	1320	535	950	0,67
50	1320	590	950	0,7
80	1420	605	1000	0,72
100	1520	620	1050	0,75
125	1520	635	1050	0,77
150	1620	650	1100	0,79
200	1820	680	1200	0,88
250	1920	710	1250	0,92
300	2060	740	1300	1
350	2160	770	1350	1,03
400	2360	800	1450	1,07
450	2460	840	1500	1,12
500	2600	870	1550	1,21
600	2875	920	1700	1,3
700	3125	980	1800	1,39

Примечание. Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходного канала приведены в табл. III.1.

При отсутствии возможности устройства дренажа (отсутствие водостоков или водоемов для выпуска дренажных вод) применяется защита каналов оклеечной гидроизоляцией (рис. III.3). В этом случае дно канала выполняется железобетонным.

Работы по сборке канала на трассе, как правило, должны производиться одновременно с монтажом теплопроводов. Прежде всего в отрытой траншее укладывается бетонное дно канала.

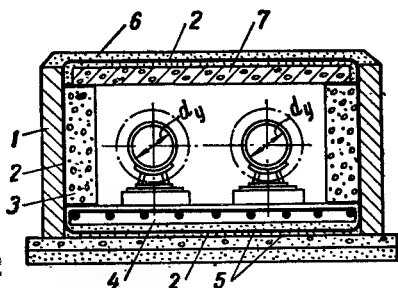


Рис. III.3. Непроходной сборный канал с защитой оклеечной гидроизоляцией

1 — кирпичная стенка; 2 — гидроизоляция; 3 — стеновой блок; 4 — железобетонное основание; 5 — цементный раствор; 6 — защитный слой; 7 — плиты перекрытия

После монтажа и изоляции труб устанавливаются стеновые блоки. Затем укладываются плиты перекрытия на цементном растворе марки 50, которым заделываются также стыковые швы между блоками. Засыпка пазух канала должна производиться особенно тщательно, одновременно с двух сторон, с утрамбовкой грунта слоями.

Необходимо отметить, что описанная конструкция канала является шарнирной, устойчивость ее обеспечивается хорошим качеством засыпки пазух за стенками и наличием грунта над перекрытием. Расчет стенок ведется в предположении двухсторонней засыпки канала при уложенных плитах перекрытия. Учитывая это, при производстве работ не следует допускать засыпки грунтом пазух непокрытого канала. Если канал длительное время остается непокрытым, необходимо раскреплять верх стеновых блоков распорками.

Для перекрытия каналов в местах поворотов применяются сборные железобетонные балки, служащие опорами для плит. Балки имеют прямоугольное сечение с выступающей полкой. Скользящие опоры теплопроводов, прокладываемых в каналах, устанавливаются на опорные железобетонные плиты. Опорные плиты укладываются на дно канала по слою цементного раствора. Плиты выполняются из бетона М-200 и армируются в нижней части сеткой. Расчет их ведется на действие веса теплопровода.

2. КАНАЛЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СО СБОРНЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ СТЕНКАМИ

Для прокладки теплопроводов диаметрами от 400 до 600 мм разработана сборная конструкция из железобетонных стеновых блоков и блоков перекрытия.

Применение сборных железобетонных стенок в каналах для труб диаметром менее 400 мм является нерациональным, так как при малой высоте канала стенки испытывают незначительные изгибающие моменты от горизонтального давления грунта.

При малой высоте стенок целесообразно выполнять стенки канала из бетона М-100. При высоте канала около 1 м и более становится выгодным применять для стенок железобетон. Для обеспечения устойчивости сборных стенок в процессе строительства стеновые блоки снизу имеют уширение в виде симметричной пяты. Толщина стенок принята 12 см, а ширина пяты — 50 см (рис. III.4). Размер пяты принят одинаковым для каналов всех сечений с целью уменьшения количества типоразмеров блоков и упрощения их изготовления.

Основные размеры и показатели непроходных каналов из железобетонных блоков приведены на рис. III.4 и в табл. III.3.

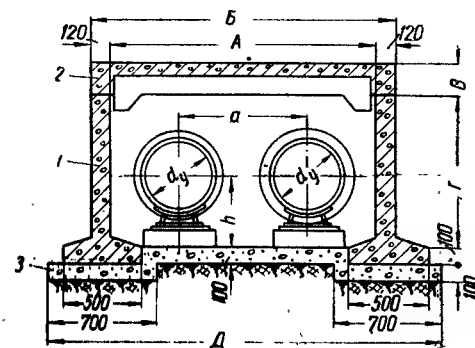


Рис. III.4. Непроходной сборный канал из железобетонных блоков для труб диаметром 400—600 мм

1 — стеновой блок; 2 — блок перекрытия; 3 — бетонная подготовка

Таблица III.3

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходного канала из железобетонных блоков

Условный диаметр теплопровода d , мм	Размеры в мм							Расход материала в м ³			
	А	Б	В	Г	Д	h	a	железобетона		бетона М-75	щебня (для подготовки)
								на блок	на перекрытие		
400	1520	1760	220	840	2340	400	720	0,33	0,26	0,24	0,24
450	1720	2000	220	840	2540	440	790	0,33	0,3	0,26	0,26
500	2000	2280	240	1000	2820	470	860	0,37	0,37	0,29	0,29
600	2000	2280	240	1000	2820	520	1000	0,37	0,37	0,29	0,29

Стеновые блоки для различных сечений каналов отличаются только высотой; длина их принята равной 2 м. Для перекрытия каналов используются железобетонные ребристые или плоские плиты с зубчатыми выступами.

Сборка канала ведется в следующей последовательности:

- на утрамбованный грунт основания укладывается бетонная подготовка М-75 толщиной 100 мм;
- на бетонной подготовке устанавливаются опорные плиты теплопроводов, а затем производится монтаж и изоляция труб;
- при помощи автокрана на бетонную подготовку устанавливаются стеновые блоки по слою цементного раствора;
- по верху стеновых блоков также на цементном растворе укладываются плиты перекрытия;
- после покрытия наружных поверхностей канала горячим битумом производится его засыпка слоями, равномерно с обеих сторон, с уплотнением грунта.

Описанная конструкция сборных каналов была применена на теплом магистралях Москвы и хорошо себя зарекомендовала при производстве работ.

3. КАНАЛЫ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВОДОВ

Сводчатые непроходные каналы состоят из сборных сводов, устанавливаемых на бетонные ленточные фундаменты. Своды имеют полуциркульное очертание; на концах сводов имеются

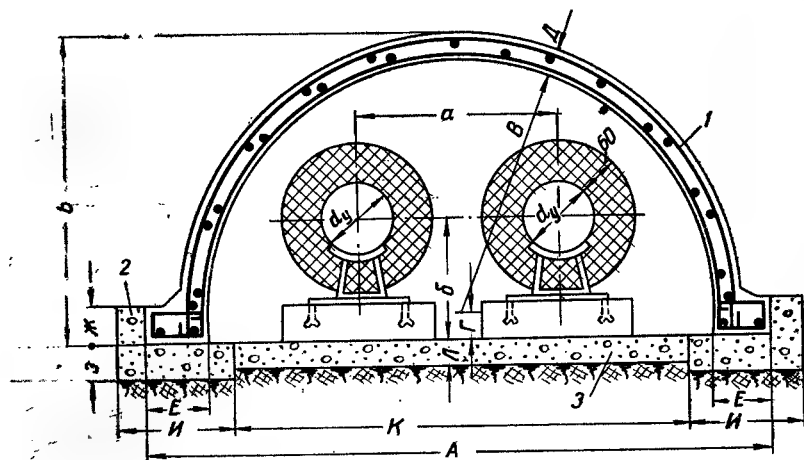


Рис. III.5. Непроходной сводчатый канал

1 — железобетонный свод; 2 — ленточный фундамент; 3 — бетонное основание

опорные пяты. Под последними устраиваются ленточные бетонные фундаменты, выполняемые из сборных элементов или чаще всего бетонные на месте. Между фундаментами устраивается бетонный пол толщиной 60—80 мм, на который устанавливаются опорные плиты под скользящие опоры теплопроводов.

Конструкция сводчатых каналов для двухтрубных теплопроводов диаметром до 350 мм показана на рис. III.5, а основные ее показатели даны в табл. III.4.

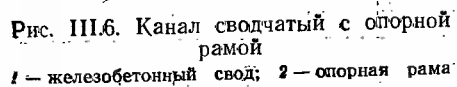
Таблица III.4

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходного сводчатого канала

Условный диаметр теплопровода $d_{\text{тп}}$ в мм	Размеры в мм														Расход материала		
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	а	б	Длина свода	бетона в м³		стали в кг
															М-200	М-100	
50	700	400	290	50	60	60	50	100	160	500	60	240	190	600	0,069	0,038	4,8
76	860	480	360	50	70	70	50	100	170	640	60	280	205	600	0,097	0,04	5,6
100	1080	540	420	50	70	120	70	100	220	760	60	320	220	600	0,11	0,052	7,5
150	1240	620	500	50	70	120	70	100	220	920	60	400	250	400	0,132	0,052	11,2
200	1380	680	550	50	80	140	80	150	260	1000	80	460	280	400	0,165	0,08	15,2
250	1500	820	610	130	80	140	80	150	260	1120	80	520	310	400	0,193	0,08	21,6
300	1640	870	660	130	80	160	80	150	300	1200	80	580	340	400	0,21	0,104	22,8
350	1740	940	710	150	80	160	80	150	300	1300	80	650	370	400	0,224	0,104	24,6

Возможно применение некоторых разновидностей этой конструкции. При хороших грунтах основания своды могут не иметь уширений по концам ят, а установка их производится непосредственно на бетонный пол канала. Однако при наличии ленточного основания сводчатые каналы получаются более экономичными, так как в этом случае их конструкция может быть рассчитана как двухшарпирный распорный свод.

Институтом Мосинжпроект Главного архитектурно-планировочного управления Москвы разработаны конструкции сводчатых каналов из сборного железобетона для тепловых сетей диаметрами 40—500 мм. Пролеты сводов составляют 1; 1,42; 1,8 и 2,2 м. Длина элементов сводов равна 2,95 м (рис. III.6). Элементы свода устанавливаются на опорную раму, которая является

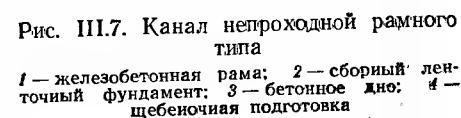


По расходу материалов сводчатые железобетонные каналы по сравнению с каналами прямоугольного сечения являются достаточно экономичными.

К достоинствам рассмотренной конструкции нужно отнести удобство монтажа железобетонного свода, состоящего из одной детали.

Сборный непроходной железобетонный канал рамного типа состоит из двух основных деталей: рамы и балок ленточного фундамента. Рама имеет П-образный вид и изготавливается из бетона М-200 с армированием по расчету.

К положительным качествам данной конструкции относятся малое количество сборных деталей, устойчивость и легкость в сборке. Выгодной также является расчетная схема канала, представляющая собой двухшарнирную прямоугольную раму, т. е. достаточно экономичную конструкцию. К серьезным недостаткам конструкции канала рамного типа относится сложность изготовления сборных деталей и плохая их транспортабельность.



В Москве начато изготовление непроходных каналов рамного типа, составленных из вибропрокатных панелей. Каналы предназначены для двухтрубных тепловых сетей диаметром до 600 мм (рис. III.9) и для многотрубных прокладок от центральных тепловых пунктов. Канал состоит из плиты днища и рамных объемных секций. Стеновые панели и панели перекрытия объединяются в объемные секции при помощи металлических косынок, привариваемых к закладным деталям панелей. Длина секции составляет 3 м.

Каналы рассчитаны на временную подвижную нагрузку Н-30 при высоте засыпки над верхом канала 0,5—2 м.

Основные размеры и расход материалов на 1 лог. и непроходного железобетонного канала

Условный диаметр теплопровода в мм	Размеры в мм										Расход материала в м³				Вес 1 рамы в кг
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	а	б	железобетона М-200	бетона М-150	бетона М-50	щебня (для подготовки)	
400	1660	1460	1890	810	140	1070	100	70	720	400	0,37	0,09	0,13	0,03	888
450	1820	1580	2030	920	150	1190	120	90	790	430	0,48	0,09	0,14	0,03	1152
500	1940	1700	2150	920	150	1190	120	90	860	460	0,48	0,09	0,16	0,03	1176
600	2220	1940	2410	1030	160	1310	140	110	1000	520	0,6	0,09	0,18	0,03	1440

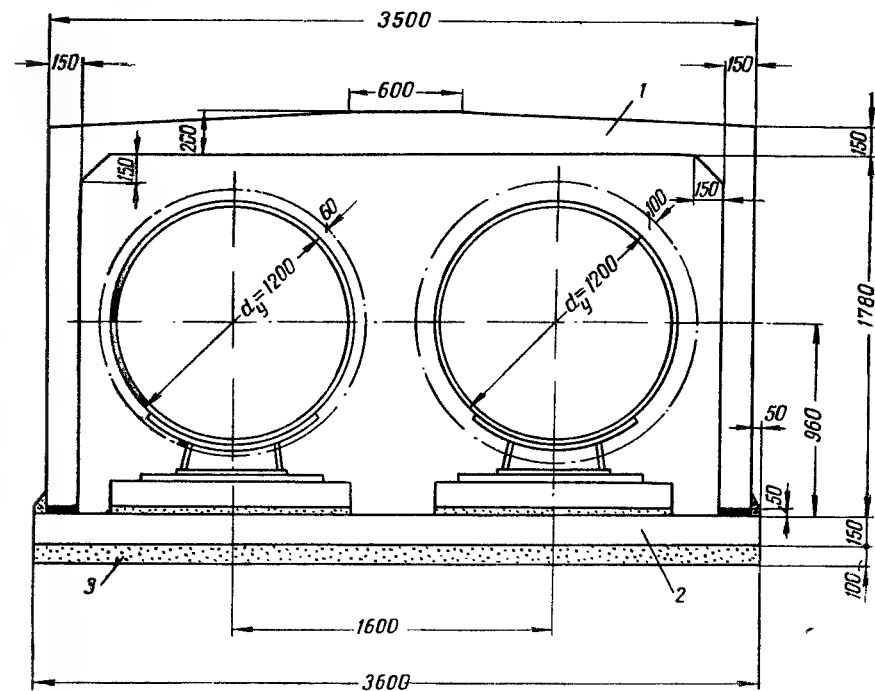


Рис. III.8. Канал рамной конструкции для труб большого диаметра
1 — железобетонная рама; 2 — железобетонное днище; 3 — утрамбованный песок

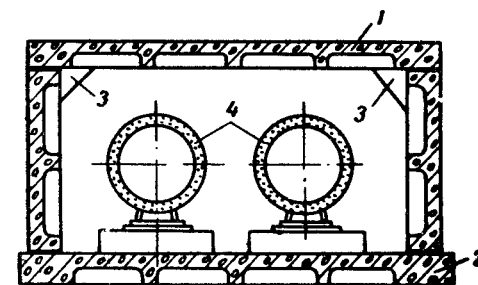


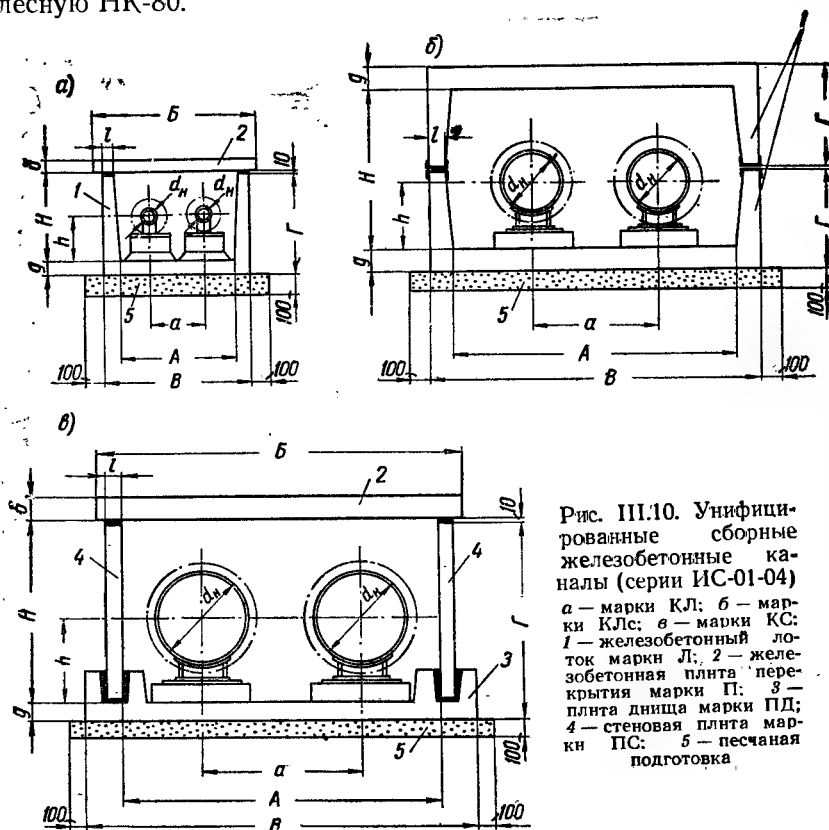
Рис. III.9. Канал из рамных секций с применением вибропрокатных плит
1 — рама из вибропрокатных плит; 2 — плита днища; 3 — косынка; 4 — теплопровод

5. УНИФИЦИРОВАННЫЕ СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КАНАЛЫ

При проектировании непроходных каналов тепловых сетей рекомендуется применять конструкции унифицированных сборных железобетонных каналов (серии ИС-01-04). В этой серии разработаны рабочие чертежи непроходных каналов, предназначенных для прокладки трубопроводов различного назначения и кабелей. Сечения этих каналов позволяют размещать теплопроводы диаметром до 600 мм. Заглубление верха перекрытия каналов принято от 0,7 до 2 м. Конструкция каналов запроектирована для непросадочных грунтов и вне зоны грунтовых вод; при наличии грунтовых вод следует предусматривать устройство попутного дренажа.

Максимальное давление на грунт от расчетных нагрузок, действующих на каналы, составляет $1,5 \text{ кг/см}^2$.

Каналы рассчитаны на автомобильную нагрузку Н-30 и колесную НК-80.



На рис. III.10 приведены конструкции каналов для двухтрубных тепловых сетей, а в табл. III.6 даны их размеры и показатели.

Таблица III.6

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м непроходных каналов из деталей серии ИС-01-04

d _н в мм	Размеры в мм								Марка канала	Расход материала на 1 пог. м канала в м ³		
	А	Б	В	Г	Н	h	а	б	в	l	железобетона	
											М-300	М-200
45	600	850	760	530	460	219	280	70	80	50	{ 0,116 0,116 0,116 0,116 }	{ 0,06 0,06 0,06 0,06 }
57	600	850	760	530	460	224	280	70	80	50	{ 0,116 0,116 0,116 0,116 }	{ 0,06 0,06 0,06 0,06 }
76	600	850	760	530	460	234	280	70	80	50	{ 0,116 0,116 0,116 0,116 }	{ 0,06 0,06 0,06 0,06 }
89	600	850	760	530	460	241	280	70	80	50	{ 0,116 0,116 0,116 0,116 }	{ 0,06 0,06 0,06 0,06 }
108	900	1150	1060	530	460	250	400	100	80	50	{ 0,14 0,14 0,14 0,14 }	{ 0,113 0,113 0,113 0,113 }
133	900	1150	1060	530	460	263	400	100	80	50	{ 0,14 0,14 0,14 0,14 }	{ 0,113 0,113 0,113 0,113 }
159	900	1150	1060	530	460	276	400	100	80	50	{ 0,14 0,14 0,14 0,14 }	{ 0,113 0,113 0,113 0,113 }
194	1200	1450	1400	680	610	293	540	100	100	60	{ 0,373 0,373 0,373 0,373 }	{ 0,16 0,16 0,16 0,16 }
219	1200	1450	1400	680	610	306	540	100	100	60	{ 0,373 0,373 0,373 0,373 }	{ 0,16 0,16 0,16 0,16 }
273	1200	1450	1400	680	610	332	540	100	100	60	{ 0,373 0,373 0,373 0,373 }	{ 0,16 0,16 0,16 0,16 }
325	1500	—	1740	530	900	359	660	—	120	80	{ 0,586 0,586 0,586 0,586 }	{ 0,194 0,194 0,194 0,194 }
377	1500	—	1740	530	900	434	660	—	120	80	{ 0,586 0,586 0,586 0,586 }	{ 0,194 0,194 0,194 0,194 }
426	1500	—	1740	530	900	459	740	—	120	80	{ 0,586 0,586 0,586 0,586 }	{ 0,194 0,194 0,194 0,194 }
478	1500	—	1740	530	900	485	740	—	120	80	{ 0,586 0,586 0,586 0,586 }	{ 0,194 0,194 0,194 0,194 }
529	2100	{ 2400 2400 }	2380	{ 730 1320 }	1200	511	1040	—	140	100	{ 0,94 1,04 1,04 1,04 }	{ 0,258 0,278 0,278 0,278 }
630	2100	{ 2400 2400 }	2380	{ 730 1320 }	1200	561	1040	—	140	100	{ 0,94 1,04 1,04 1,04 }	{ 0,258 0,278 0,278 0,278 }

Глава IV

КОНСТРУКЦИИ СБОРНЫХ ПОЛУПРОХОДНЫХ КАНАЛОВ

1. КАНАЛЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

При прокладке тепловых сетей в пределах городских проездов с усовершенствованными покрытиями оказывается целесообразным сооружение полупроходных каналов, допускающих проход в них эксплуатационного персонала.

Тепловые сети, проложенные в непроходных каналах или в оболочках, требуют периодических вскрытий, поскольку довольно часто при эксплуатации возникает необходимость осмотра и ремонта трубопроводов и теплоизоляции.

В крупных городах вскрытие проездов приводит к порче дорогостоящей дорожной одежды, нарушению благоустройства и дезорганизации транспорта. Поэтому применение полупроходных каналов в них не только экономически оправдано, но и целесообразно при эксплуатации. В полупроходных каналах, помимо осмотра теплопроводов, могут быть выполнены ремонт теплоизоляции и частичная замена необходимых участков поврежденных труб.

Внутренние габариты полупроходных каналов принимаются в зависимости от диаметра теплопроводов. В каналах теплопроводы размещаются в одном горизонтальном ряду с ходами, шириной 50 см, считая от тепловой изоляции труб. Теплопроводы в местах скользящих опор опираются на бетонные камни, установленные на пол канала.

Для полупроходных каналов применяется сборная конструкция из железобетонных блоков. Канал составляется из блоков трех типов: ребристого блока перекрытия, стенового фигурного блока и плиты дна (рис. IV.1).

Стеновой блок имеет Г-образную форму; длинная его сторона служит стенкой канала, а короткая — основанием. Из короткой стороны блока выпущена арматура в виде петель. Блок дна имеет форму прямоугольной плиты, по длинным сторонам которой выпущены арматурные петли.

Рис. IV.1. Сборный полупроходной канал из железобетонных блоков

1 — ребристый блок перекрытия;
2 — стеновой блок; 3 — блок дна;
4 — бетонная подготовка; 5 — щебеночная подготовка

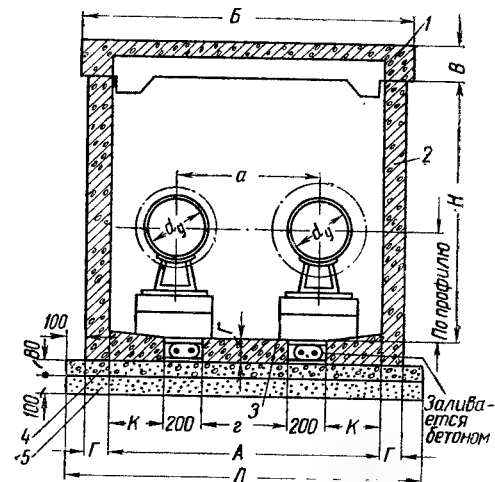


Таблица IV.1

Основные показатели железобетонных блоков полупроходных каналов

Тип блока	Эскиз блока	Основные размеры в см	Ширина канала А в см				
			128	152	172	200	250
Для перекрытия		Б	152	176	200	228	278
		Л	126	150	170	198	248
		б	100	100	100	120	120
		h	20	22	22	24	25
		Объем бетона в м³	0,22	0,26	0,3	0,44	0,53
Для стены		H	150	150	152	154	174
		M	35	35	40	50	60
		C	180	180	180	180	180
		δ	10	10	12	14	14
		Объем бетона в м³	0,32	0,32	0,4	0,5	0,57
Для дна		K	120	120	120	180	180
		Г	10	10	12	14	14
		z	42	66	76	88	118
		Объем бетона в м³	0,05	0,08	0,11	0,221	0,3

Блок перекрытия представляет собой ребристую плиту с выступающими по концам ребер упорами, которые заходят внутрь канала и необходимы для опоры верха стеновых блоков. Другой конструкцией блока перекрытия является гладкая прямая угловая плита с зубом или четвертью, которая легче в изготовлении, но требует больших затрат бетона и стали.

В табл. IV.1 приведены основные показатели по описанным выше блокам.

Для размещения двух теплотрассовых диаметрами 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 и 700 мм принято пять сечений полупроходных сборных каналов. Основные размеры полупроходных каналов, применяемых в условиях, естественно влажных грунтов, приведены на рис. IV.1 и в табл. IV.2.

Таблица IV.2
Основные размеры полупроходных каналов

Условный диаметр теплотрассы d_y в мм	Размеры в мм					
	A	B	B	L	D	H
150	1280	1520	200	100	1680	1410
200	1280	1520	200	100	1680	1410
250	1520	1760	220	100	1920	1410
300	1520	1760	220	100	1920	1410
350	1720	2000	220	120	2160	1410
400	1720	2000	220	120	2160	1410
450	2000	2280	240	140	2480	1410
500	2000	2280	240	140	2480	1410
600	2220	2780	240	140	2980	1610
700	2500	2780	250	140	2980	1610

Сооружение полупроходных сборных каналов из железобетонных блоков ведется в следующем порядке. По дну открытой траншеи устраивается подготовка толщиной 10 см из бетона М-75, на которую устанавливаются плиты днаща и стеновые блоки по слою цементного раствора так, чтобы стыки между ними не совпадали со стыками стеновых блоков. Через петлевые выпуски арматуры стеновых блоков и плит днаща пропускается продольная арматура, которая соединяется с выпусками. Затем стыки замоноличиваются бетоном М-200.

Вертикальные стыки стеновых блоков и горизонтальные стыки плит днаща заполняются цементным раствором. По верху стеновых блоков укладываются блоки перекрытия; швы между блоками заполняются цементным раствором. Затем производится засыпка канала грунтом, равномерными слоями, с уплотнением грунта. Монтаж теплотрассовых и теплоизоляционных ра-

боты в стесненных городских условиях могут выполняться в перекрытом канале. Необходимо отметить, что замоноличивание стыков стеновых блоков и днаща в зимнее время может быть произведено изнутри в готовом канале. Рассмотренная конструкция полупроходных сборных каналов применяется в сухих грунтах.

При сооружении каналов в условиях грунтовых вод устраивается дренаж, который состоит из асбестоцементных, бетонных или керамических труб (диаметром не менее 150 мм), гравийно-песчаного фильтра и песчаной подсыпки стенок канала.

Дренажные трубы укладываются с уклоном не менее 0,003. Гравийно-песчаный фильтр состоит из речного песка крупностью до 1 мм (70%) и асфальтового гравия крупностью 5—7 мм (30%).

Для очистки и наблюдения за работой дренажа через 35—40 м устраиваются смотровые колодцы; выпуск дренажной воды производится в водосточную сеть или водоемы. В случае отсутствия возможности выпуска дренажных вод производится гидроизоляция канала оклейкой наружных поверхностей гидроизоляцией на битуме. Следует отметить, что гидроизоляция полупроходных каналов не является достаточно надежным мероприятием для защиты от грунтовых вод и применяется в основном для уменьшения количества поступающей в канал воды.

Конструкция сборных железобетонных полупроходных каналов оправдала себя в строительстве и эксплуатации тепловых сетей.

При сборке канала стеновые блоки не требуют никакого временного крепления; замоноличивание стыков в днаще канала выполняется весьма просто и качественно без применения опалубки.

Конструкция в собранном виде обладает хорошей устойчивостью, так как все сборные элементы ее надежно перевязаны и соединены между собой. Стыки блоков стенок и днаща находятся в местах нулевых изгибающих моментов, что позволяет принять простую конструкцию стыкования. При принятой длине стеновых блоков, равной 1,8 м, конструкция каналов получается малошовой, что является весьма ценным качеством для подземного сооружения.

Простота конфигурации и транспортабельность блоков позволили быстро и в большом количестве внедрить эту конструкцию в строительство.

Для тепловых сетей большого диаметра применяются железобетонные однокорневые каналы (рис. IV.2), разработанные институтом Мосэнергоспецпроект. Они состоят из стеновых тавровых блоков 2 (длиной 2 м), ребристых блоков перекрытия 1 и гладкой плиты днаща 3. Эта конструкция аналогична конструкции непроходных каналов для труб диаметром 400—600 мм. Конструкция применяется в естественно влажных грунтах с хорошей

Основные показатели этих каналов для теплопроводов диаметром от 700 до 1200 мм приведены в табл. IV.3.

Институтом Мосинжпроект разработана конструкция полупроходных каналов с применением железобетонных вибропрокатных плит, которая нашла применение в строительстве внутриквартальных подземных коммуникаций (рис. IV.3).

В этих каналах прокладываются теплопроводы отопления и горячего водоснабжения, водопровод, кабельные сети и газопроводы низкого давления.

Основные размеры и расход материалов на 1 лог. и сборных полупроходных каналов для теплопроводов больших диаметров

Условный диаметр теплопровода d_u в мм	Размеры в мм														Расход материалов на 1 пог. м канала в м ³					
	А	Б	В	Г	Д	Е	К	М	Р	С	Т	а	б	h	Н	Бетона (блок длина)	Бетона (блок стен)	Бетона (блок перекрытия)	Бетона (для подтопки)	песка (для подтопки)
700	2400	2700	190	1160	3150	100	540	620	1750	900	550	1240	110	590	1600	0,175	0,38	0,37	0,15	0,185
800	2350	2900	210	1360	3310	100	560	650	1910	900	550	1350	110	680	1820	0,191	0,42	0,42	0,16	0,201
900	2820	3100	210	1610	3640	120	650	700	2150	1200	600	1470	150	760	2070	0,215	0,54	0,45	0,16	0,224
1000	3100	3400	250	1610	3920	120	700	750	2450	1200	600	1650	150	820	2110	0,245	0,54	0,58	0,16	0,252
Подающая Обратная	3100	3400	250	1610	3920	120	700	750	2450	1200	600	1650	150	{820} {840}	2110	0,245	0,54	0,58	0,16	0,252
	3220	3600	250	1780	4120	150	740	820	2550	1200	650	1660	150	960	2280	0,255	0,701	0,62	0,17	0,262

Каналы выполняются трех типов со следующими внутренними размерами: высота — 1,87 м; ширина — 1,16; 1,46 и 1,76 м. Объемные секции каналов собираются на заводе из часторебристых плит, изготавливаемых на станах инж. Н. Я. Козлова. Секция представляет собой четырехшарнирную раму. Некоторая

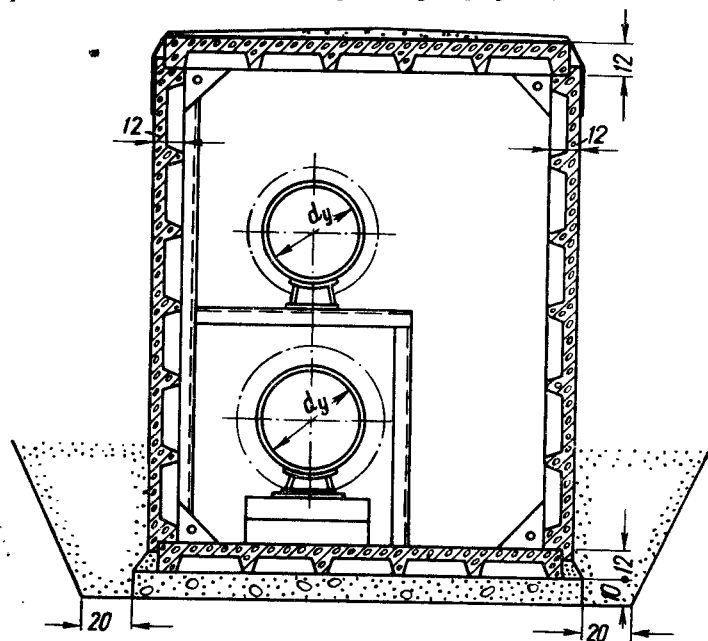


Рис. IV.3. Канал из вибропрокатных панелей

жесткость узлов рамы достигается приваркой стальных косынок в торцах секций, рассчитанных только на монтажные нагрузки и на восприятие одностороннего давления грунта, отсыпанного до верха плиты перекрытия.

Элементы секций рассчитаны на давление грунта при высоте засыпки от 0,5 до 2 м и действие временной подвижной нагрузки Н-30 при ее невыгоднейшем расположении относительно рассматриваемого элемента.

Каждая секция собирается из четырех элементов: плиты днища, плиты перекрытия и двух стеновых плит. Длина секций 3,2 м; вес секций 3,9; 4,25 и 4,6 т. Соединение секций на заводе производится путем сварки стержневых и петлевых выпусков в стеновых плитах с закладными частями днищ и перекрытий. В торцах секций на закладные части стеновых плит и плит днища навариваются стальные косынки толщиной 10 мм. Плиты стен сопрягаются с перекрытием и днищем в четверть, швы между плитами расширяются цементным раствором. Для обеспечения

точности сборки секций применяются стенды (кондукторы). Наружная поверхность стен секции покрывается горячим битумом за 2 раза, а перекрытие оклеивается двумя слоями гидроизола на битуме.

При сооружении канала в сухих грунтах объемные секции устанавливаются на песчаную подготовку толщиной 10 см. Под стыками секций укладываются железобетонные плиты сечением 40×12 см. При песчаных грунтах устройства подготовки из песка не требуется. В мокрых и слабых грунтах делается бетонная подготовка.

Каналы из объемных секций, сооружаемые в условиях высокого уровня грунтовых вод, защищаются оклеечной гидроизоляцией или снабжаются попутным трубчатым дренажем. Недостатком данной конструкции канала является ее шарнирность и малая устойчивость при действии боковых нагрузок.

В каналах из объемных секций могут быть проложены теплопроводы диаметром до 500 мм, которые в зависимости от диаметра располагаются по вертикали или по горизонтали.

Четырехшарнирные рамные конструкции каналов больших размеров в ряде случаев подвергаются разрушению при строительстве; отмечены также случаи нарушения устойчивости каналов и туннелей шарнирной конструкции при эксплуатации.

Поэтому рекомендовать широкое применение каналов из вибропрокатных плит в виде четырехшарнирной рамы до опытной проверки не следует. Правильней было бы данную конструкцию каналов из вибропрокатных плит выполнить с жесткими углами, однако такая конструкция потребует армирования плит на возникающие в углах рамы отрицательные моменты.

Таким образом, рассмотренная конструкция полупроходных каналов требует дополнительной проверки в условиях эксплуатации на опытных участках.

2. КАНАЛЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

При строительстве тепловых сетей для сооружения полупроходных каналов часто используются железобетонные безнапорные трубы («Трубы железобетонные и бетонные безнапорные» по ГОСТ 6482—63). Трубы диаметром 1,7; 2; 2,5 и 3 м могут использоваться при проектировании полупроходных каналов тепловых сетей. Эти трубы, выполняемые из бетона М-300, рассчитаны на временную нагрузку Н-30 при высоте земляной засыпки порядка 4—6 м. Поэтому по условиям прочности они применимы для использования в качестве строительной конструкции каналов тепловых сетей. Железобетонные трубы выпускаются длиной 2—4 м, в зависимости от внутреннего диаметра. Укладка труб производится на спрофилированное дно траншеи с засыпкой пазух песчаным грунтом. В случае укладки труб без плотного уплотнения пазух несущая способность их резко снижает-

ся. Прокладка теплопроводов в трубах производится на бетонных столбиках. Размещение теплопроводов внутри сечения железобетонных труб должно учитывать возможность прохода между теплопроводами и боковых смещений последних при температурных удлинениях.

На рис. IV.4 приведен полупроходной канал из железобетонных труб с размещением в нем теплопроводов, а в табл. IV.4 даны основные показатели таких каналов.

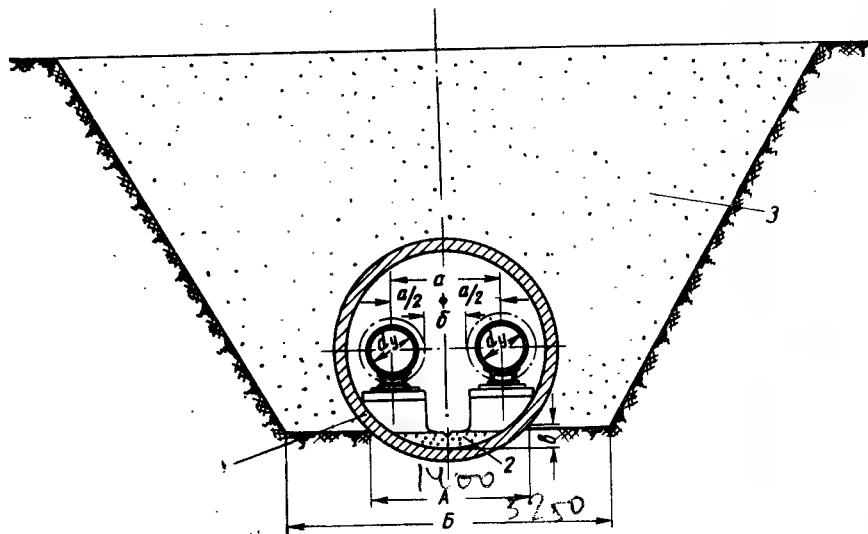


Рис. IV.4. Полупроходной канал круглого сечения
1 — железобетонная труба; 2 — бетонный пол; 3 — песок

Таблица IV.4

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м полупроходных каналов круглого сечения

Диаметр труб в мм		Размеры в мм					Объем железобетонной трубы на 1 пог. м в м³
d_H	d_B	A	B	a	b	e	
426	1700	1400	2900	980	400	150	0,66
529	2000	1600	3250	1080	400	200	0,94

Продолжение табл. IV.4

Диаметр труб в мм		Размеры в мм					Объем железобетонной трубы на 1 пог. м в м³
d_H	d_B	A	B	a	b	e	
630	2500	2000	3800	1280	500	250	1,37
720				1400			
820	3000	2350	4300	1500	500	300	1,77
920				1580			
1020				1670			

Примечание. d_H — наружный диаметр теплопроводов; d_B — внутренний диаметр железобетонной трубы.

3. КАНАЛЫ ДВУХЪЯЧЕЙКОВЫЕ

В строительстве тепломатриалей большого диаметра применяются полупроходные двухъячейковые каналы из сборных железобетонных деталей (рис. IV.5).

Эта конструкция состоит из блоков четырех типов: крайнего 1 и среднего 4 стеновых блоков, ребристого блока перекрытия 2 и блока дна 3.

В поперечном сечении двухъячейкового канала находится семь блоков: два крайних стеновых блока Г-образной формы, один средний стеновой блок таврового сечения, два ребристых блока перекрытия и два блока дна. Два крайних стеновых блока и один средний соединяются между собой двумя блоками дна путем замоноличивания бетоном арматуры стыков. Выпуск арматуры в виде петель делается с двух сторон блоков дна и в торцовых частях основания стеновых блоков.

Блоки перекрытия укладываются по верху стеновых блоков на цементном растворе. Сооружение двухъячейковых каналов ведется так же, как и сборных полупроходных одноячейковых каналов, описанных выше. Некоторая особенность сборки двухъячейкового канала состоит в том, что сначала устанавливаются средние стеновые блоки и блоки дна и только после монтажа труб производится установка крайних стеновых блоков и блоков перекрытия.

Для изготовления блоков перекрытия каналов применяется бетон М-200, а для блоков стен и дна — бетон М-150.

Основные показатели двухъячейковых каналов приведены в табл. IV.5.

Основные размеры и расход материала на 1 пог. м двухъячейковых каналов

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Наружный диаметр теплопровода d_n в мм	Размеры в мм										Расход материала в m^3						
		A	E	B	E	K	M	C	T	a	l_0	δ_1	δ_2	h	сборного железобетона	бетона М-75	железобетона М-200	теплоизоляция
800	820	3740	1580	200	3940	930	930	530	3460	1600	1650	100	60	640	1,6	0,394	0,112	0,46
900	920	3940	1680	220	4140	960	1000	630	3660	1700	1750	120	70	750	1,8	0,414	0,112	0,61
1000	1020	4340	1880	220	4540	1010	1050	830	4060	2000	1950	130	70	840	1,89	0,454	0,112	0,71

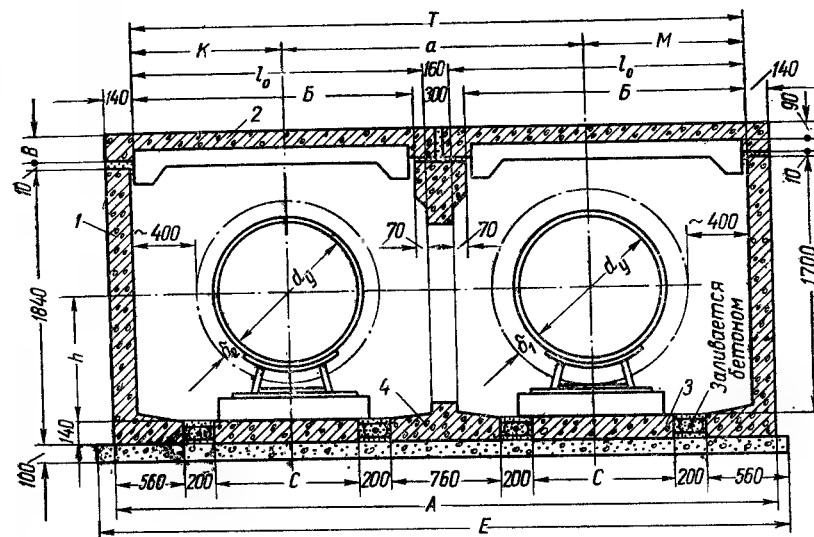


Рис. IV.5. Двухъячейковый сборный железобетонный канал

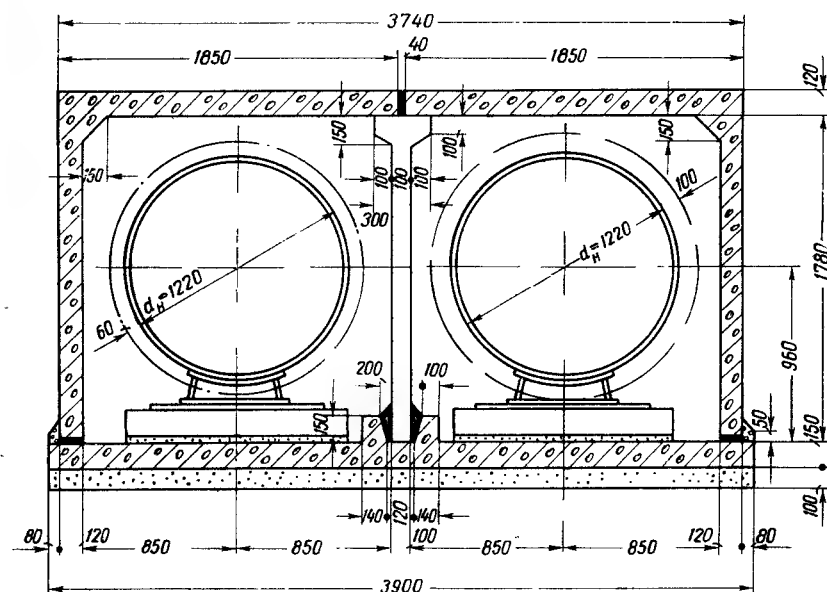


Рис. IV.6. Двухъячейковый сборный канал из железобетонных полуар для трубопроводов диаметром 1220 мм

При сооружении двухъячейкового канала в мокрых грунтах, да возможно подтапливание теплопровода грунтовыми водами, производится устройство попутного дренажа. Дренаж из керамических или асбестоцементных труб укладывается по обеим сторонам канала; по дну и за стенками канала устраивается гравийно-песчаный фильтр.

На рис. IV.6 приведен вариант конструкции двухъячейкового сборного железобетонного канала, запроектированного для диаметра 1220 мм. Размеры канала могут быть приняты с обеспечением прохода по каналу или без учета прохода (в зависимости от места прохождения трассы и требований эксплуатации).

Конструкция канала состоит из следующих сборных деталей: двух полурам, средней стойки и плиты днища. Плиты днища укладываются на песчаную подготовку, выполненную по дну траншеи. После монтажа теплопроводов устанавливается средняя стенка и заделывается стык стенки и днища. Установка полурам заканчивается сборка канала. Эта конструкция довольно проста в изготовлении и сборке.

Глава V

КОНСТРУКЦИИ СБОРНЫХ ПРОХОДНЫХ ТУННЕЛЕЙ

1. ТУННЕЛИ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Проходные туннели могут сооружаться как открытым, так и закрытым способом. Конструкция туннеля находится в зависимости от принятого способа производства работ. При открытом способе работ большое распространение получили прямоугольные туннели из сборных железобетонных деталей, применяемые в строительстве коллекторов для совместной укладки подземных коммуникаций различного назначения (рис. V.1). Конструкция туннеля состоит из сборных деталей (рис. V.2). Из этих деталей могут быть собраны туннели прямоугольного сечения одноячейковые, двухъячейковые и многоячейковые.

В поперечном сечении одноячейкового туннеля устанавливаются два крайних стеновых блока и по одному блоку перекрытия и днища. В поперечном сечении двухъячейкового туннеля устанавливаются два крайних стеновых блока, один средний и по два блока перекрытия и днища. Ребристый блок перекрытия представляет собой прямоугольную плиту, оконтуренную ребрами. Два ребра, попадающие в пролет плиты, являются несущими. На нижней поверхности ребра, вблизи опор, устраиваются консольные выступы, служащие упорами для верха стеновых блоков. Крайний стеновой блок имеет Г-образную форму. Длинная его часть является стеной туннеля и имеет ребристое сечение. Короткая часть блока служит его основанием и представляет собой плиту, в конце которой выпущена арматура. Средний стеновой блок в поперечном сечении имеет форму двутавра. Широкая нижняя полка двутавра служит основанием блока, а верхняя короткая — опорой для блоков перекрытия. В нижней части блока, по концам широкой полки, предусмотрены петлевые выпуски арматуры. Блок днища представляет собой прямоугольную плиту, по длинным сторонам которой выпущена арматура в виде петель для стыкования. В торцах блоков стен и днища устраиваются трапециевидные пазы, заполняемые цементным раствором для соединения блоков.

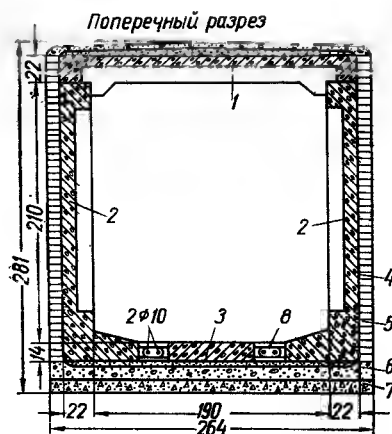
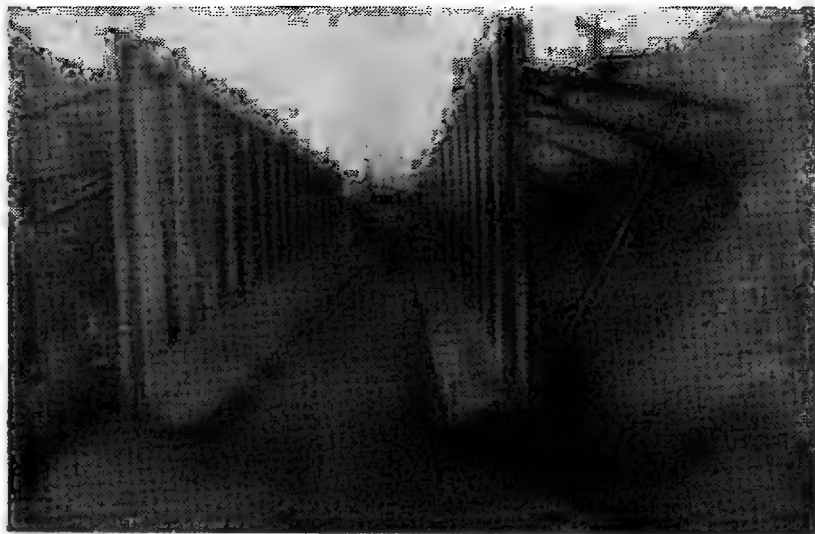


Рис. V.1. Проходной сборный туннель из крупных ребристых блоков
1 — ребристый блок перекрытия; 2 — ребристый стеновой блок; 3 — блок днища; 4 — гидроизоляция; 5 — защитная кирпичная стенка; 6 — бетонная подготовка; 7 — щебеночная подготовка; 8 — места сопряжений, заливаемые бетоном

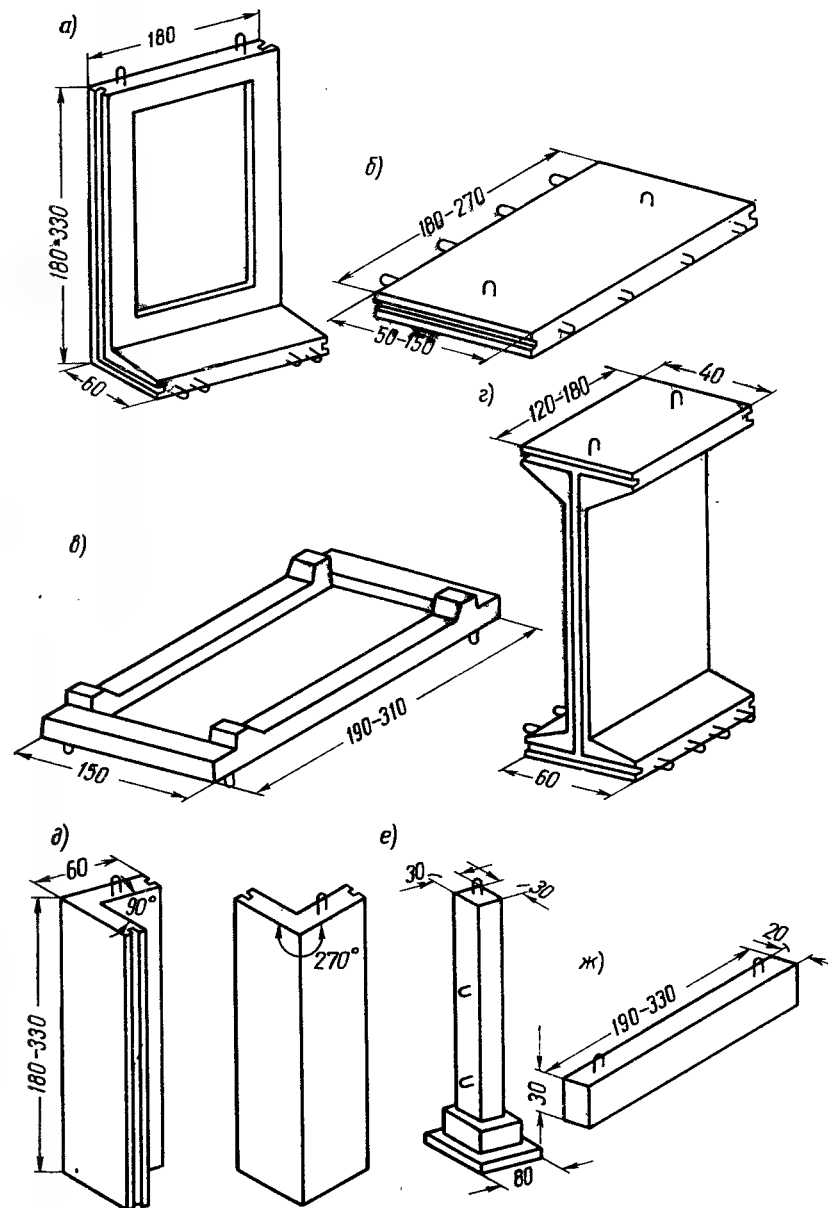


Рис. V.2. Сборные железобетонные блоки проходных туннелей
а — крайний стеновой блок; б — блок днища; в — блок перекрытия; г — средний стеновой блок; д — угловые блоки; е — колонна; ж — балка перекрытия

Железобетонные блоки перекрытия стен и днища выполняются из бетона М-200; для армирования их применяется круглая арматура из стали марки Ст.3 и горячекатаная периодического профиля из стали марки Ст.5.

Сооружение сборного одноячейкового туннеля ведется в следующей последовательности:

- 1) на спланированном дне траншеи устраивается основание туннеля из щебеночной подготовки и слоя бетона;
- 2) по бетонному слою наклеиваются (на битуме) два слоя гидроизоляции днища из гидроизола (концы гидроизола выпускаются за пределы бетонного основания);
- 3) поверх изоляции выполняется цементная стяжка;
- 4) по слою цементного раствора устанавливаются стеновые блоки с заливкой торцовых пазов раствором;
- 5) между концами опорных частей стеновых блоков укладывают блоки днища по слою цементного раствора;
- 6) через выпуски арматуры блоков стен и днища пропускают продольные стержни и производят замоноличивание стыков;
- 7) по верху стеновых блоков укладывают на цементном растворе ребристые блоки перекрытия;
- 8) на поверхности перекрытия делают цементную стяжку;
- 9) на стены и перекрытия туннеля наклеивают гидроизоляцию;
- 10) вплотную к гидроизоляции стен туннеля выкладывают защитные кирпичные стенки;
- 11) поверх гидроизоляции перекрытия туннеля наносят защитный слой бетона толщиной 5 см.

Описанный порядок производства работ может быть несколько изменен, если сооружение туннеля ведется в узкой траншее при ширине между стойками крепления, равной ширине туннеля (включая защитные стенки). В этом случае после устройства гидроизоляции днища выкладываются защитные кирпичные стенки, на которые наклеивается гидроизоляция, предназначенная для защиты стен туннеля.

Описанная конструкция обладает рядом преимуществ. Надежный и простой способ соединения блоков стен и днища обеспечивает устойчивость конструкции сборного туннеля. Стыки сопряжений находятся в местах нулевых изгибающих моментов, что позволяет производить их замоноличивание бетоном внутри собранного туннеля. При монтаже в зимнее время может быть допущено временное стыкование на сварке выпусков арматуры без укладки бетона.

Блоки стен и днища имеют различные размеры, вследствие чего по длине туннеля отсутствуют сплошные швы по всему периметру сечения. Это обеспечивает перевязку сборных элементов. Значительные размеры блоков позволяют делать конструкцию малошовной, что имеет большое значение для подземного

сооружения с точки зрения обеспечения плотности и непроницаемости.

Ребристое сечение основных элементов туннеля обеспечивает выгодное использование железобетона. Сборные элементы весьма транспортабельны; монтаж их при строительстве туннеля может осуществляться краном грузоподъемностью 5 т. При сборке туннеля не требуется применения временных креплений и специальных приспособлений: блоки стен обладают устойчивостью, а блоки днища и перекрытия сразу и окончательно укладываются в заданное положение.

Туннели двухъячейкового сечения выполняются из тех же сборных элементов, что и туннели одноячейкового сечения, с добавлением среднего стенового блока. Сооружаются они в той же последовательности. При устройстве туннелей в условиях

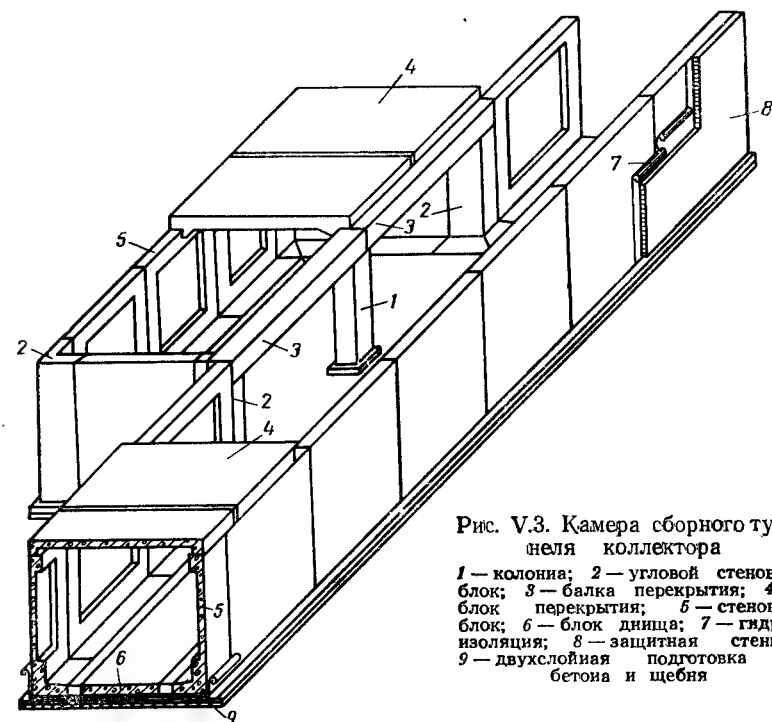


Рис. V.3. Камера сборного туннеля коллектора

1 — колонна; 2 — угловой стеновой блок; 3 — балка перекрытия; 4 — блок перекрытия; 5 — стеновой блок; 6 — блок днища; 7 — гидроизоляция; 8 — защитная стенка; 9 — двухслойная подготовка из бетона и щебня

мокрых грунтов (ниже уровня постоянных грунтовых вод) дополнительно устраивается дренаж. Как показал опыт строительства городских коллекторов, наружная обклеенная гидроизоляция может служить только защитой от случайных и грунтовых вод при сезонном поднятии их уровня.

В теплофикационных туннелях проходного сечения, а также в общих коллекторах необходимо устраивать камеры и шахты

для размещения оборудования сетей. Сооружение подземных помещений больших габаритов также требуется для установки насосов для водоотлива и вентиляторов, для размещения диспетчерских. Эти камеры, шахты и подземные помещения выполняются из сборных деталей, применяемых в линейной конструкции туннелей.

Для сооружения камер и шахт требуются дополнительно еще детали трех типов: колонн, балок перекрытия и угловых стеновых блоков.

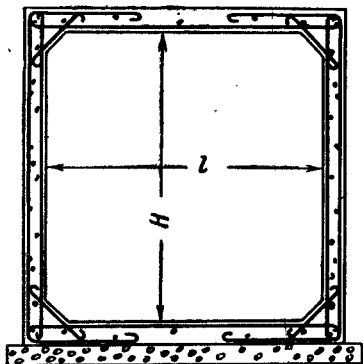


Рис. V.4. Сечение туннеля в виде замкнутой прямоугольной рамы

Общий вид камеры туннеля, выполненной из сборных железобетонных деталей, показан на рис. V.3. Сборные туннели из крупных ребристых железобетонных блоков получили широкое применение в строительстве. Возможно сооружение туннелей в виде замкнутой прямоугольной рамы (рис. V.4). Однако сборные звенья такого туннеля при большом весе (до 5 т) имеют небольшие размеры по длине (порядка 1—1,5 м), что делает конструкцию туннеля многошовой. Большим недостатком кон-

струкции является и отсутствие надежной связи между отдельными сборными прямоугольными звеньями, взаимной осадке которых препятствует только бетонная подготовка, выполняемая в основании туннеля.

Изготовление железобетонных звеньев замкнутого контура на заводах неэффективно из-за малого использования объема пропарочных камер. Тем не менее, конструкция туннеля в виде замкнутой рамы имеет и достоинства: устойчивость в поперечном направлении и экономичность по расходу железобетона. Данная конструкция может быть рекомендована: а) при условии выполнения туннеля в монолитном железобетоне с применением передвижной механизированной опалубки; б) при изготовлении железобетонных звеньев на заводе по специальной технологии, не требующей термовлажностной обработки деталей в пропарочных камерах.

2. УНИФИЦИРОВАННЫЕ СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ТУННЕЛИ

Типовые рабочие чертежи этих туннелей серии ИС-01-05, разработанные Харьковским Промстройпроектом, утверждены и введены в действие Госстроем СССР с 1 июля 1964 г.

В табл. V.1 приведены основные показатели по унифицированным сборным железобетонным туннелям.

Основные показатели по унифицированным сборным железобетонным туннелям (серия (ИС-01-05))

Габаритные схемы туннелей	Марка туннелей	Габариты туннелей в мм		
		A	H	B
	T150—210	1500	2100	—
	T180—210	1800		
	T210—210	2100		
	T240—210	2400		
	T210—240	2100	2400	—
	T240—240	2400		
	T300—210	3000	2100	—
	T360—210	3600		
	T420—210	4200		
	T300—240	3000	2400	—
	T360—240	3600		
	T420—240	4200		
	T240—300	2400	3000	—
	T300—300	3000		
	T360—300	3600		
	T420—300	4200		
	2T240—240	2400	2400	5200
	2T300—240	3000		6400
	2T360—240	3600		7600
	2T420—240	4200		8800
	2T240—300	2400	3000	5200
	2T300—300	3000		6400
	2T360—300	3600		7600
	2T420—300	4200		8800

Односекционные туннели собираются из сборных железобетонных плит днища, стен и перекрытия. Стеновые плиты устанавливаются в пазы днища и замоноличиваются бетоном М-300 на мелком щебне. Конструкция стыка обеспечивает жесткое соединение стен с днищем. Плиты перекрытия имеют уступ для опирания верха стеновых плит при работе на боковое давление грунта.

Конструкция двухсекционных туннелей состоит из сборных плит стен и перекрытия (из номенклатуры односекционных туннелей), стоек, прогонов и монолитного железобетонного днища.

Стеновые панели устанавливаются в пазы, расположенные по краям монолитного днища, а стойки — в гнезда, выполненные в днище по оси туннеля через 3 м.

Плиты перекрытия укладываются на верх стеновых панелей и продольный прогон, проложенный по стойкам.

Под сборные плиты днища устраивается подготовка из бетона М-50 толщиной 100 мм, по которой выполняется песчаный выравнивающий слой толщиной 30 мм. Монолитное железобетонное днище выполняется на бетонной подготовке.

Гидроизоляция туннелей запроектирована из рулонных материалов с защитой изоляционного ковра цементным слоем и кирпичной кладкой. Швы между сборными элементами заполняются цементным раствором М-50.

Туннели запроектированы для непросадочных грунтов с максимальным давлением на грунт основания от расчетных нагрузок, действующих на туннели, 1,5 кг/см².

Рассчитаны туннели на толщину засыпки: минимальную 0,7 м, максимальную 2 м. При расчете характеристика грунта принималась следующей: объемный вес $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$; угол естественного откоса $\varphi = 30^\circ$. Временная нагрузка принята в виде автомобильной Н-30 и колесной НК-80.

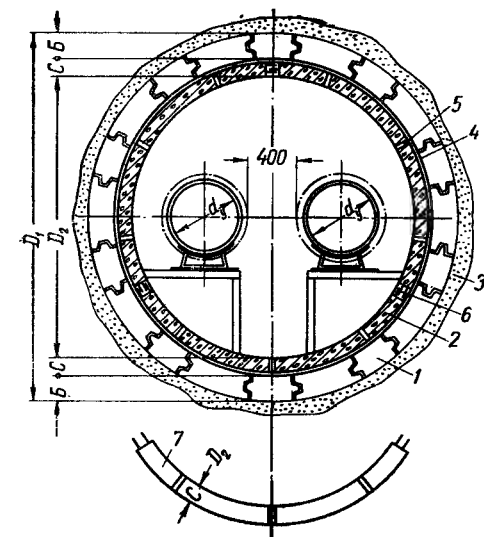


Рис. V.5. Поперечное сечение круглого туннеля, выполненного способом щитовой проходки

1 — блок наружной обделки; 2 — внутренняя железобетонная рубашка; 3 — цементный раствор, нагнетаемый в грунт; 4 — цементный раствор, нагнетаемый за рубашку; 5 — отверстия в сегментах рубашки; 6 — стык сегментов рубашки; 7 — сегмент рубашки

Получил метод щитовой проходки. Последняя осуществляется металлическими щитами круглого сечения диаметрами 2; 2,5 и 3,6 м. Конструкция туннеля круглого сечения, выполненного при помощи щитовой проходки, состоит из наружной оболочки-обделки и внутренней рубашки (рис. V.5). Основные показатели щитовых туннелей приведены в табл. V.2.

Таблица V.2

Размеры и расход материалов на 1 пог. м щитового туннеля

Диаметр щита D_1 в см	Внутренний диаметр туннеля D_2 в см	С в см	Б в см	Количество блоков (на одно кольцо) в шт.	Объем бетона обделки в м ³	Объем железобетонной рубашки в м ³	Расход цемента на нагнетание в кг	Максимальный диаметр теплопроводов в мм
200	150	10	15	16	0,9	0,4	250	300
256	196	12	18	18	1,35	0,65	304	400
360	280	15	25	20	2,62	1,2	553	800

Наружная оболочка состоит из сборных бетонных или железобетонных блоков трапециевидальной формы, на торцовых гранях которых имеются гребни и пазы. Составленная из отдельных сборных блоков обделка туннеля собирается в процессе щитовой проходки по мере продвижения щита.

Внутренняя рубашка в конструкции туннеля может служить:

1) для сохранения гидроизоляционного слоя, устраиваемого между обделкой туннеля и рубашкой; в этом случае рубашка воспринимает только гидростатическое давление воды; 2) для восприятия давления грунта, действующего на туннель; использование внутренней рубашки как несущей конструкции бывает необходимым при наличии неустойчивых и разнохарактерных грунтов, когда многослойная наружная оболочка (обделка) туннеля может потерять устойчивость.

Сборная конструкция рубашки в поперечном сечении туннеля состоит из трех железобетонных сегментов длиной 1 м. По обоим концам сегмента выпущена арматура; после их установки арматура соединяется электросваркой. Стыки сборных сегментов заделываются бетоном М-200 на быстротвердеющем цементе.

Монтаж сборной рубашки производится при помощи тележки, позволяющей транспортировать и устанавливать сегменты на место.

Необходимо отметить, что конструкция туннелей, сооружаемых закрытым способом при помощи щитов, нуждается еще в значительном усовершенствовании, которое должно идти в направлении увеличения размеров блоков обделки и упрощения их формы.

Глава VI

БЕСКАНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

1. КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ В ДВУХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧКАХ

Наибольшее распространение получила конструкция теплопроводов в оболочке из железобетонных труб. В этой конструкции каждый теплопровод двухтрубной тепловой сети монтируется из готовых блоков (рис. VI.1), состоящих из стальной трубы, тепловой изоляции и внешней оболочки (железобетонной трубы).

Промежуток между стальным теплопроводом и оболочкой заполнен теплоизоляционным материалом. Стальные трубы центрируются при помощи скоб из круглой стали, одновременно служащих подвижными скользящими опорами. При тепловом удлинении теплопровод передвигается в осевом направлении внутри железобетонных оболочек. К достоинствам конструкции относится хорошая защищенность тепловой изоляции и теплопровода от воздействия грунтовой влаги. Железобетонные трубы для наружных оболочек изготавливаются заводским способом.

При строительстве готовые блоки опускаются в траншею при помощи автокранов, затем производится сварка стыков. Сварные стыки теплопроводов покрываются теплоизоляцией, а в промежутки между оболочками устанавливаются два железобетонных полуцилиндра или железобетонные муфты.

Сооружение тепловых сетей этой конструкции может быть осуществлено и способом протаскивания изолированных стальных труб внутри предварительно уложенных железобетонных труб. Такой способ в последнее время находит большее применение, чем способ монтажа готовых блоков, особенно при теплопроводах больших диаметров. В этом случае в открытую траншею укладываются на песчаную подсыпку железобетонные трубы и производится их стыкование. Затем в них заводятся сваренные теплопроводы с нанесенной тепловой изоляцией.

Конструкция теплопроводов, осуществляемых способом протаскивания, нашла применение в сетях диаметром 150—500 мм в оболочках из железобетонных труб (рис. VI.2 и табл. VI.1).

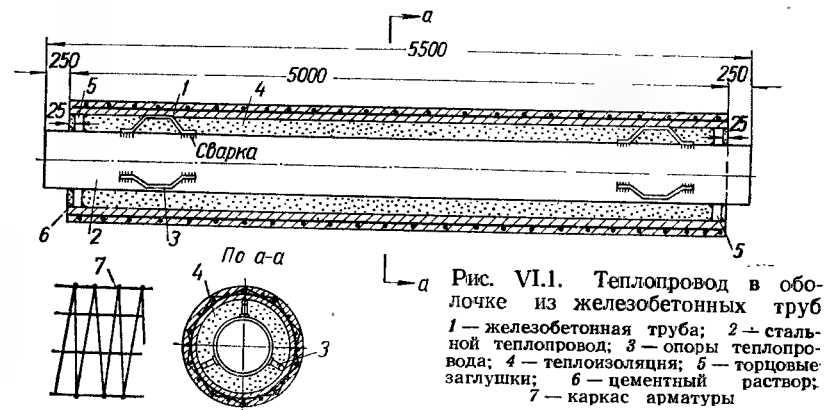


Рис. VI.1. Теплопровод в оболочке из железобетонных труб
1 — железобетонная труба; 2 — стальной теплопровод; 3 — опоры теплопровода; 4 — теплоизоляция; 5 — торцовые заглушки; 6 — цементный раствор; 7 — каркас арматуры

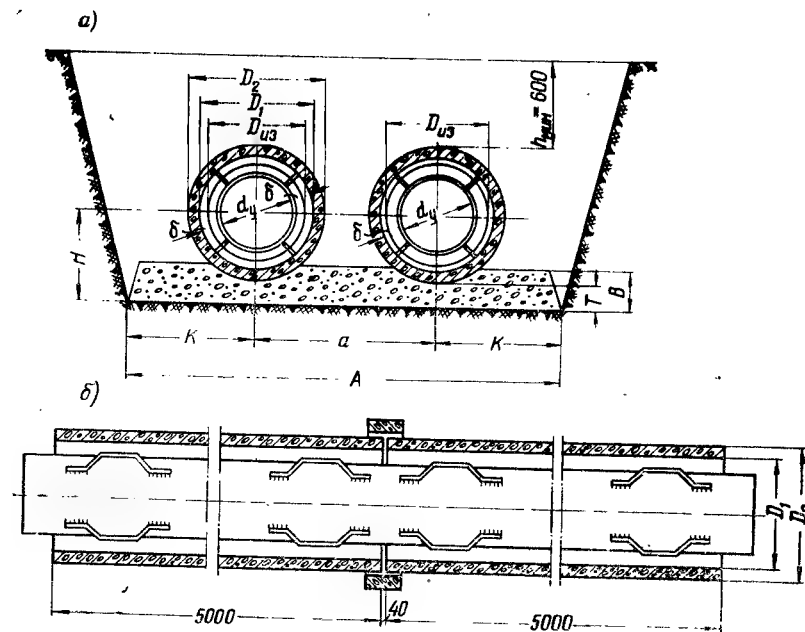


Рис. VI.2. Конструкция теплопроводов, осуществляемая способом протаскивания
а — поперечное сечение; б — продольный разрез

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м для теплопроводов в оболочках из железобетонных труб

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Расход материалов на 1 пог. м трассы															
	Размеры в мм															
	D_1	D_2	a	D из трубопроводов		H	A	B	δ	K	T					
				подлежащего	обратного											
150	320	400	600	259	239	350	1800	150	80	600	200	ГТ-3	0,046	0,033	0,025	0,27
200	320	400	600	299	299	380	1800	180	50	600	250	ГТ-3	0,046	0,033	0,033	0,32
250	425	505	750	373	353	420	2050	167	76	650	250	ГТ-4	0,058	0,051	0,04	0,34
300	505	605	850	455	415	440	2250	167	90	700	200	ГТ-5	0,088	0,08	0,053	0,31
350	505	605	850	485	467	470	2250	167	64	700	250	ГТ-5	0,088	0,073	0,06	0,37
400	575	695	950	556	516	500	2450	152	75	750	250	ГТ-6	0,12	0,1	0,067	0,37
500	750	890	1200	679	619	570	3100	125	110	950	250	ГТ-7	0,154	0,143	0,081	0,39

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м конструкции тепловой сети с армопенобетонной изоляцией

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Размеры в мм					Расход материалов на 1 пог. м трассы					
	Диаметр изоляции трубопроводов		а	А	Б	С	пенобетона в м ³	стали круглой в кг	борулина в м ³		песка (для подготовки) в м ³
	подающего D под	обратного D обр							по трубе	на изоляцию	
50	182	182	350	1100	550	250	0,038	2,2	0,43	2,56	0,25
70	201	201	350	1150	575	250	0,044	2,28	0,56	2,82	0,26
80	226	226	350	1200	600	250	0,058	2,34	0,65	3,4	0,27
100	268	226	400	1300	650	250	0,068	2,42	0,78	3,49	0,3
125	298	268	500	1400	700	250	0,082	2,52	0,95	3,99	0,32
150	324	298	500	1400	700	250	0,098	2,62	1,14	5,01	0,32
200	416	366	550	1500	750	250	0,147	2,86	1,55	5,5	0,35
250	466	416	600	1600	800	250	0,167	3,68	1,89	6,22	0,37
300	534	466	800	2000	1000	350	0,201	3,83	2,27	7,05	0,6
350	620	534	800	2300	1150	350	0,272	4,02	2,61	7,97	0,7
400	678	576	900	2500	1250	400	0,3	4,6	3,05	8,78	0,9
500	804	678	1200	2900	1450	400	0,391	6,74	3,67	10,41	1
600	936	810	1300	3200	1600	450	0,518	7,3	4,32	11,84	1,2
700	1040	936	1450	3500	1750	500	0,66	7,82	4,96	13,86	1,4
900	1162	1040	1600	3800	1900	550	0,77	8,36	5,6	15,12	1,7
900	1286	1162	1750	4000	2000	600	0,88	8,9	6,24	17,1	1,9
1000	1406	1286	2000	4400	2200	650	1,06	9,39	6,88	19,4	2,2

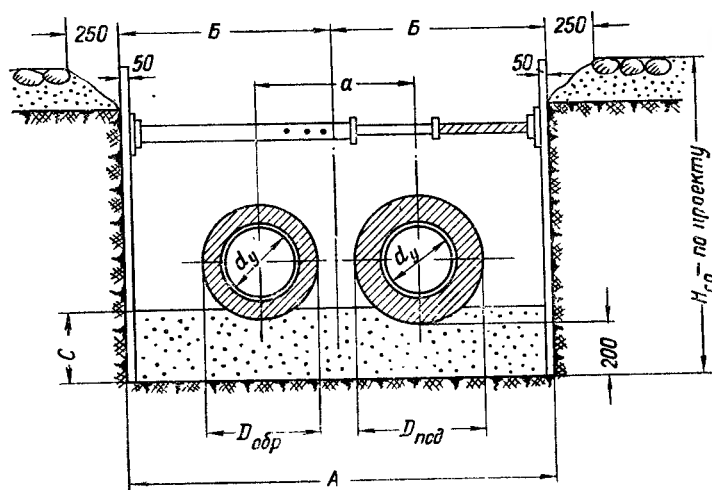


Рис. VI.3. Конструкция тепловой сети с монолитной армопенобетонной изоляцией (обе трубы с теплоизоляцией)

Конструкция двухтрубной тепловой сети с монолитной армопенобетонной изоляцией приведена на рис. VI.3, а ее основные показатели даны в табл. VI.2.

В последние годы в Ленинграде начато применение конструкций тепловых сетей, в которых подающий теплопровод имеет теплоизоляционную армопенобетонную оболочку, а обратный теплопровод — только защитное гидроизоляционное покрытие с асбестоцементной коркой.

Типовые чертежи бесканальных прокладок двухтрубных тепловых сетей с монолитной армопенобетонной изоляцией для применения в различных грунтовых условиях разработаны Ленинградским отделением института Теплоэлектропроект.

Конструкции теплопроводов диаметром от 50 до 1000 мм для прокладки в сухих и мокрых грунтах приведены на рис. VI.4 и VI.5, а основные показатели — в табл. VI.3 и VI.4.

Указанные конструкции тепловых сетей с монолитной армопенобетонной изоляцией могут применяться в глинистых, (суглинки и супеси), песчаных и плотно слежавшихся насыпных грунтах.

Применение конструкции в слабых насыпных грунтах возможно при условии устройства под трубами основания из сборных железобетонных плит или замены слабых грунтов подушкой из песка толщиной не менее 0,5 м. В сейсмических районах и районах вечной мерзлоты, а также на территории горных выработок применять эту конструкцию не рекомендуется.

Бесканальная прокладка разработана для двухтрубных водяных тепловых сетей с расчетной температурой сетевой воды 150—70°C. Причем применение ее допускается только при условии, что в обратном теплопроводе температура теплоносителя ни при каких режимах эксплуатации и испытании тепловой

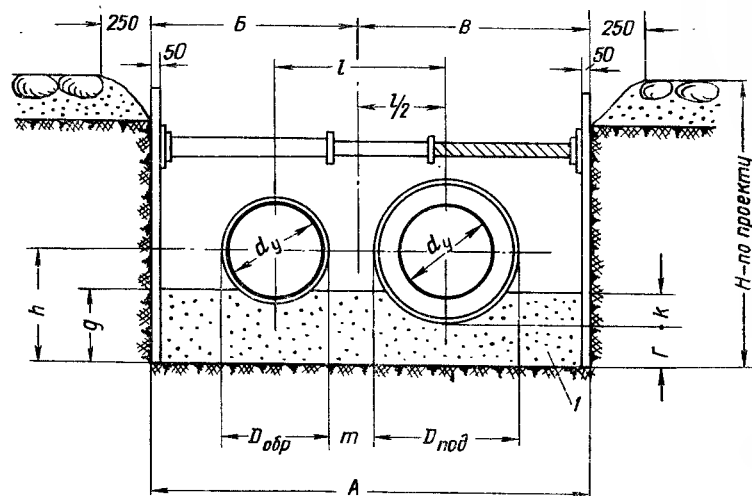


Рис. VI.4. Конструкция тепловой сети с монолитной армопенобето-
тонной изоляцией для применения в сухих грунтах (изолирована
подающая труба)
1 — подготовка из крупнозернистого песка

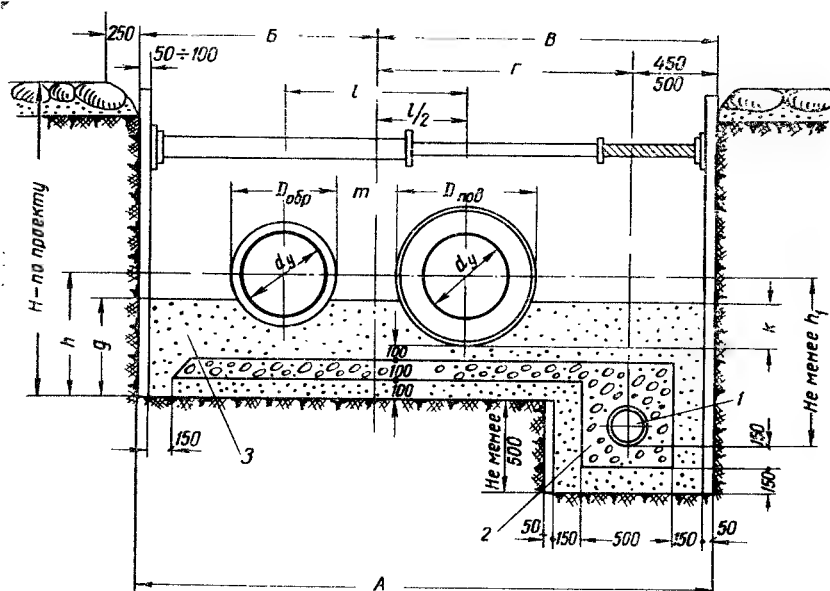


Рис. VI.5. Конструкция тепловой сети с монолитной армопенобетонной изоляцией для применения в мокрых грунтах (изолирована подающая труба)

1 — асбестоцементная труба диаметром 100—200 мм; 2 — гравий фракций от 3 до 15 мм; 3 — песок крупнозернистый

сети не будет выше 70°C. Это требование вызывается тем, что гидроизоляция обратного теплопровода не рассчитана на более высокие температуры.

Таблица VI.3

Основные размеры конструкции тепловой сети с армопенобетонной изоляцией для прокладки в сухих грунтах

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Диаметр изо- ляции трубо- проводов в мм		Размеры в мм								
	подающе- го $D_{\text{под}}$	обратного $D_{\text{обр}}$	A	B	B	Г	д	к	т	h	l
50	249	99	1150	550	600	150	250	100	176	280	350
70	249	118	1150	550	600	150	250	100	167	280	350
80	301	131	1150	550	600	150	250	100	134	280	350
100	311	160	1250	600	650	150	300	150	164	310	400
125	361	185	1350	650	700	150	300	150	227	310	500
150	411	211	1350	650	700	200	350	150	180	410	500
200	464	271	1500	700	800	200	350	150	182	430	550
250	516	325	1600	750	850	200	350	150	180	460	600
300	567	377	1700	800	900	200	400	200	178	480	650
350	612	429	1850	850	1000	200	400	200	180	510	700
400	666	478	2000	950	1050	200	450	250	228	530	800
450	712	530	2200	1050	1150	200	450	250	279	560	900
500	756	581	2300	1100	1200	200	450	250	332	580	1000
600	854	682	3100	1500	1600	200	450	250	532	630	1300
700	952	772	3300	1600	1700	200	450	250	538	680	1400
800	1050	872	3500	1700	1800	200	500	300	539	730	1500
900	1152	972	3700	1800	1900	200	500	300	538	780	1600
1000	1250	1072	3900	1900	2000	200	500	300	539	830	1700

Гидроизоляция теплопроводов разработана в двух вариантах: 1) оклейка четырьмя слоями рулонного материала — бризола; 2) покрытие термостойкой асфальтовой мастикой в три слоя с промежуточным армированием мастики бризолом или стеклотканью.

Для подающих теплопроводов гидроизоляция накладывает-
ся поверх армопенобетонной изоляции, а для обратных — не-
посредственно на трубу. Поверх гидроизоляции как на подаю-
щих, так и на обратный теплопровод наносится защитная
асбестоцементная штукатурка по металлической сетке.

Для бесканальной прокладки теплопроводов в монолитной армопенобетонной изоляции применяются трубы из стали марки Ст. 3 по сортаменту труб для тепловых сетей: бесшовные горячекатаные по ГОСТ 8732—58*, электросварные с продольным швом и калиброванными концами — по ГОСТ 4015—58. При проектировании этой конструкции не следует превышать предельные расстояния от неподвижных опор до сальниковых компенсаторов. Бесканальная прокладка тепловых сетей приме-

няется только на прямолинейных участках трассы; все повороты сети осуществляются в каналах.

Таблица VI.4

Основные размеры конструкции тепловой сети с армопенобетонной изоляцией для прокладки в мокрых грунтах

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Диаметр изоляции трубопроводов в мм		Размеры в мм									
	попадающего $D_{под}$	обратного $D_{обр}$	A	B	B	Г	д	к	h	h ₁	t	l
50	249	99	1600	550	1050	700	350	150	330	530	176	350
70	249	118	1600	550	1050	700	350	150	330	530	167	350
80	301	131	1600	550	1050	700	350	150	330	530	134	350
100	311	160	1700	600	1100	750	350	150	360	550	164	400
125	361	185	1800	650	1150	800	350	150	360	550	225	500
150	411	211	1850	650	1200	850	350	150	410	600	189	500
200	464	271	1950	700	1250	900	350	150	430	630	182	550
250	516	325	2100	750	1350	1000	350	150	460	650	180	600
300	567	377	2300	800	1500	1050	500	200	580	780	178	650
350	612	429	2400	850	1550	1100	500	200	610	810	180	700
400	666	478	2550	950	1600	1150	550	250	630	830	228	800
450	712	530	2750	1050	1700	1250	550	250	660	860	279	900
500	756	581	2850	1100	1750	1300	550	250	680	880	332	1000
600	854	682	3500	1500	2000	1500	550	250	730	930	532	1300
700	952	772	3700	1600	2100	1600	550	250	780	980	538	1400
800	1050	872	3900	1700	2200	1700	600	300	830	1030	539	1500
900	1152	972	4100	1800	2300	1800	600	300	880	1080	538	1600
1000	1250	1072	4300	1900	2400	1900	600	300	930	1130	539	1700

В НИИМосстрое с 1964 г. проводятся экспериментальные работы по исследованию конструкции теплопроводов с применением в качестве теплоизоляции керамзитобетона в виде цилиндрической оболочки, накладываемой поверх теплопровода в заводских условиях (рис. VI.6)*.

В этой конструкции теплопровод связан с оболочкой и при температурных удлинениях перемещается внутри грунта засыпки совместно с оболочкой.

Стальной теплопровод защищен от коррозии керамзитобетоном, который предохранен от увлажнения поверхностной коркой из цементно-песчаного раствора, наносимого по стальной сетке. Для устройства теплозащитной оболочки применяется керамзитобетон с $\gamma = 500 \div 600 \text{ кг/м}^3$, пределом прочности на сжатие не менее 10 кг/см^2 и коэффициентом теплопроводности $0,14 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ при влажности не более 5%.

* Конструкция предложена инженерами Л. С. Аксельродом, А. А. Лямым, Я. Б. Финкельштейном и Н. П. Циглером.

Изготовление блоков теплопровода должно производиться заводским способом.

Монтаж тепловой сети из готовых блоков теплопроводов состоит из укладки автокраном блоков в траншею на песчаную подготовку и сварки стыков.

После гидравлического испытания сваренных теплопроводов производится изолирование стыков путем обертывания их матами из минеральной ваты (укрепленных на металлической сетке) и выполнения цементно-песчаной штукатурки.

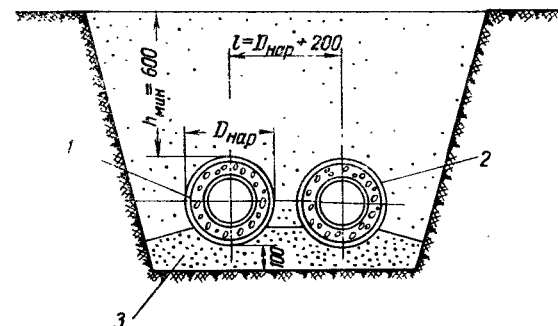


Рис. VI.6. Конструкция тепловой сети с теплоизоляцией из керамзитобетона: 1 — оболочка из керамзитобетона; 2 — цементно-песчаная корка по металлической сетке; 3 — песчаная подготовка

Применение данной конструкции бесканальных теплопроводов позволяет снизить строительную стоимость тепловых сетей на 30—50%, резко уменьшить трудовые затраты и расход строительных материалов. Переход к широкому использованию такого способа строительства тепловых сетей делает индустриальным сооружение теплопроводов и позволяет при тех же капитальных вложениях вводить в действие значительно большее количество тепловых сетей в более короткие сроки.

Изготовление керамзитобетонной оболочки не требует автоклавной обработки, применения дорогостоящего оборудования и сложной технологии заводского производства.

Производство готовых блоков теплопровода может быть организовано на действующем заводе керамзитобетонных изделий или заводе железобетонных конструкций.

На первом этапе внедрения рассмотренной конструкции в строительстве намечается применение ее в тепловых сетях диаметром 50—400 мм.

3. ЗАСЫПНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ни одна из применявшихся ранее конструкций бесканальных теплопроводов с засыпной теплоизоляцией не может быть рекомендована для строительства тепловых сетей, так как они имеют низкие теплоизоляционные качества и обладают малой долговечностью из-за интенсивной почвенной коррозии стальных теплопроводов. Проведенные во Всесоюзном теплотехни-

ческом институте имени Ф. Э. Дзержинского исследования установили возможность изготовления из отечественных материалов новой самоспекающейся теплоизоляции.

Эта изоляция имеет ряд преимуществ по сравнению с другими, применяющимися в тепловых сетях (в том числе и с изоляцией из армопенобетона):

а) гидрофобность теплоизоляционного материала как в спекшемся (пористом), так и в порошкообразном состоянии;

б) водонепроницаемость и неувлажняемость материала, находящегося в плотном состоянии (после расплавления) в слое, окружающем поверхность труб;

в) низкая теплопроводность ($\lambda = 0,08 \div 0,1 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$);

г) высокое омическое сопротивление, благодаря чему стальные трубы электрически изолируются от окружающего грунта;

д) сравнительно невысокая стоимость исходного сырья.

е) простота рабочих операций по изоляции труб.

Применение нового материала в конструкциях бесканальных теплопроводов позволяет также существенно снизить капитальные затраты по сооружению тепловых сетей.

В настоящее время данная конструкция находится в стадии опытного внедрения. Она перспективна для широкого внедрения в ближайшем будущем на строительстве тепловых сетей городов и промышленных предприятий. Более подробное ее описание приведено в гл. XIV.

Другой перспективной конструкцией бесканальной тепловой сети с засыпной теплоизоляцией является прокладка теплопроводов в керамзитобитумной смеси, состоящей из легкого керамзита и битума.

Теплоизоляционная оболочка защищает теплопроводы от воздействия грунтовой среды и обеспечивает осевые перемещения труб при температурных перемещениях за счет входящего в состав смеси битума. Зерна керамзита, выполняющие функцию теплоизоляции, защищаются битумной пленкой от возможного проникания влаги из грунта.

Конструкцию предполагается первоначально применить в тепловых сетях малого и среднего диаметра, прокладываемых в сухих песчаных грунтах.

4. КОМБИНИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В двухтрубных водяных тепловых сетях подающий и обратный теплопроводы, как известно, транспортируют воду с различными параметрами. Подающий теплопровод несет перегретую воду от ТЭЦ или котельной с температурой до 150°C , тогда как обратный возвращает воду от потребителя с температурой порядка $50-70^\circ\text{C}$. Различие в температурном режиме работы подающего и обратного теплопроводов позволяет по-разному решать их конструкцию.

Таблица VI.5

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м комбинированной конструкции тепловой сети с прокладкой подающей трубы в железобетонной оболочке

Размеры в мм															Расход материала на 1 пог. м			
Условный диаметр теплопровода d_y в мм	$D_{из}$	D_1	D_2	a	H	A	B	K	M	δ	муфта			железобетонная оболочка		песчаная подложка в мм	тепловая изоляция в мм	
											D_3	D_4	l	марка	объем в мм ³			
200	319	425	505	460	350	1620	320	410	750	53	545	625	200	ГТ-4	0,058	0,52	0,033	
250	373	505	605	520	400	1760	360	440	800	66	645	745	200	ГТ-5	0,088	0,65	0,051	
300	455	505	605	580	400	1840	350	460	800	25	645	745	200	ГТ-5	0,088	0,65	0,08	
350	507	575	695	650	450	1990	390	490	850	34	735	855	200	ГТ-6	0,12	0,78	0,073	
400	576	750	890	720	550	2180	480	510	950	87	930	1070	250	ГТ-7	0,18	1,05	0,1	
500	679	750	890	860	550	2380	460	570	950	35	930	1070	250	ГТ-7	0,18	1,1	0,114	

Комбинированная конструкция тепловой сети представляет собой бесканально уложенный обратный теплопровод и размещенный в канале или оболочке подающий теплопровод. Целесообразность прокладки обратных теплопроводов непосредственно в грунте без тепловой изоляции достаточно обоснована¹.

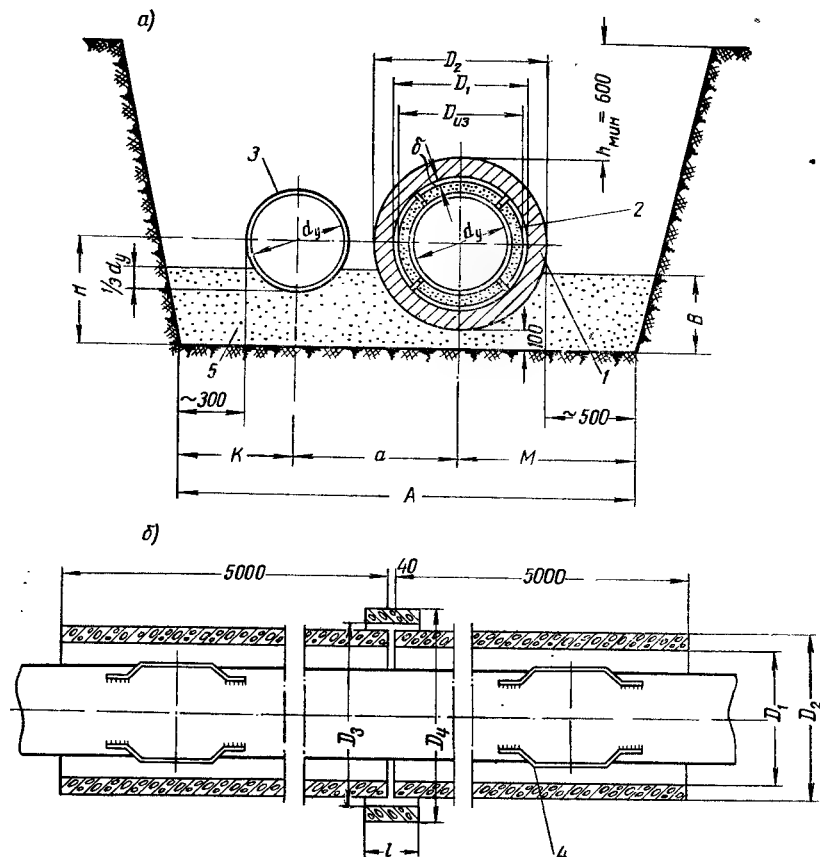


Рис. VI.7. Комбинированная конструкция с прокладкой подающей трубы в железобетонной оболочке

a — поперечный разрез; b — продольный разрез; 1 — железобетонная труба; 2 — тепловая изоляция; 3 — антикоррозийное покрытие; 4 — опорная скоба; 5 — песчаная подготовка

Допускаемое при этом некоторое увеличение тепловых потерь компенсируется экономией капитальных затрат при строительстве, достигающей в среднем 25% стоимости тепловой сети, проложенной в каналах. Применение тепловой изоляции только

¹ По СНиП II-Г.10-62 обратные теплопроводы водяных тепловых сетей допускается прокладывать без тепловой изоляции при соответствующем технико-экономическом обосновании.

для подающей трубы значительно упрощает конструкцию двухтрубной тепловой сети. Подающий теплопровод в этом случае может быть уложен в длинномерных железобетонных трубах или канале.

Для антикоррозийной защиты наружной поверхности обратных теплопроводов может быть рекомендовано покрытие из двух-трех слоев изола (ГОСТ 10296—62) с теплоустойчивостью до 150°C и поверхностной цементно-песчаной корки по металлической сетке. Нанесение защитного покрытия на обратных трубах должно выполняться заводским способом.

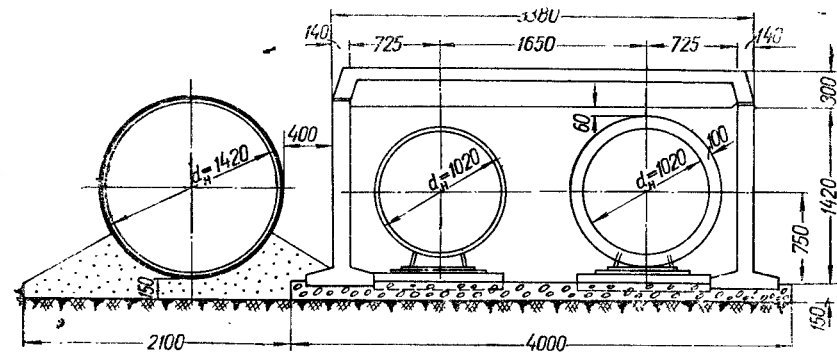


Рис. VI.8. Усиление тепломагистрали дополнительной прокладкой обратной трубы в грунте без тепловой изоляции

В Москве проложены опытные участки такой конструкции. На рис. VI.7 приведена конструкция комбинированной прокладки теплопроводов с размещением подающей трубы в оболочке из железобетонных труб, а в табл. VI.5 даны основные показатели.

Применение комбинированных конструкций может получить распространение при реконструкции существующих тепловых сетей в случае необходимости увеличения их пропускной способности.

При хорошем состоянии существующих тепловых сетей весьма рациональна дополнительная прокладка одной обратной трубы большего диаметра с пропускной способностью, равной пропускной способности двух существующих теплопроводов. В этом случае обратная труба прокладывается непосредственно в грунте без тепловой изоляции. В практике строительства московских тепловых сетей уже выполнено подобное увеличение пропускной способности некоторых тепломагистралей.

В качестве примера на рис. VI.8 приведено проектное решение усиления крупной тепломагистрали (диаметром 1020 мм) путем дополнительной прокладки одной трубы диаметром 1420 мм, что дает возможность увеличить пропускную способность существующей тепломагистрали с 500 до 1000 Гкал/ч.

Глава VII

КОНСТРУКЦИИ ПО ТРАССЕ ТЕПЛОПРОВОДОВ

1. КАМЕРЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Камеры устраиваются в местах установки оборудования теплопроводов: задвижек, сальниковых компенсаторов, спусковых и воздушных кранов, мертвых опор и др.

Строительная часть камер часто выполняется из кирпича, а также из монолитного бетона или железобетона. Сборный железобетон главным образом применяется для устройства перекрытий.

В строительстве тепловых сетей Москвы нашли применение сборные железобетонные камеры круглого и прямоугольного очертания в плане.

Распространение получили камеры из круглых железобетонных колец с внутренним диаметром 1,5 и 2 м, применяемые на трассах теплопроводов диаметром до 150 мм.

Конструкция круглой камеры составлена из блоков трех типов: кольца без отверстий, кольца с отверстиями для пропуска труб и плиты перекрытия (рис. VII.1).

Стены камеры собираются из трех кольцевых блоков, накладываемых друг на друга. Для пропуска труб один из кольцевых блоков имеет проемы. Этот блок устанавливается обычно в верхнем или среднем ряду, что отвечает нормальному заглублению теплопроводов от поверхности земли (0,8—1,5 м).

Нижний кольцевой блок устанавливается на подготовку из бетона М-75 толщиной 150 мм. Под бетонную подготовку укладывается щебеночный слой толщиной 50 мм.

Поверх верхнего кольцевого блока укладывается круглая плита перекрытия, которая имеет ребро и два отверстия для устройства смотровых люков. Горловины обычно выполняются из кирпичной кладки и перекрываются стандартными чугунными люками. Наружные поверхности камеры покрываются горячим битумом за 2 раза.

В строительстве тепловых сетей имела применение конструкция камер из сборных железобетонных звеньев прямоугольной формы (рис. VII.2).

Типовые конструкции камер разработаны для внутренних габаритов 1,5 × 1,5; 1,5 × 2 и 2 × 2 м.

Прямоугольное очертание камер имеет некоторое преимущество перед круглым в части более удобного обслуживания оборудования теплопроводов, размещенного в камере. Эта конструкция состоит из прямоугольных замкнутых звеньев, накладываемых одно на другое. Прямоугольные звенья, из которых собираются стены камер, изготавливаются двух видов: без отверстий и с отверстиями для пропуска труб.

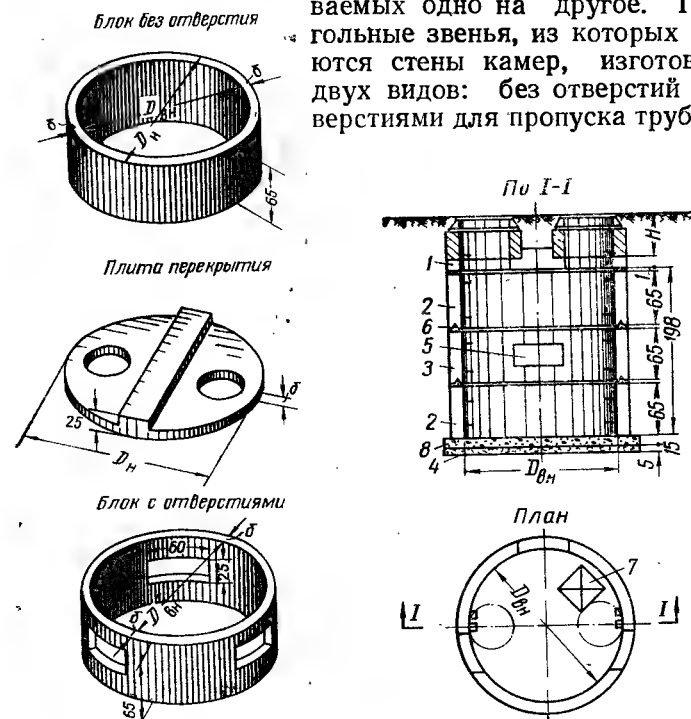


Рис. VII.1. Круглая камера из железобетонных колец
1 — плита перекрытия; 2 — блок без отверстий; 3 — блок с отверстиями; 4 — утрамбованный щебень; 5 — проем для пропуска труб; 6 — цементный раствор; 7 — приямок; 8 — подготовка из бетона М-75

В последние годы была разработана и осуществлена новая сборная конструкция прямоугольных камер со стенками из вертикальных блоков (рис. VII.3). Сборные камеры этой конструкции разработаны для пяти размеров в плане (1,5 × 1,5; 1,5 × 2; 2 × 2; 2 × 2,5 и 2,5 × 2,5 м) и монтируются из стеновых блоков и блоков перекрытия дна и приямка.

Стеновой блок представляет собой плиту Г-образной формы, короткая сторона которой служит его основанием, а длинная составляет стену камеры. Из короткой стороны блока выпущена арматура в виде петель.

Блоки изготавливаются двух типов: сплошные и с отверстием прямоугольной формы для пропуска труб.

Угловой стеновой блок в поперечном сечении имеет форму уголка.

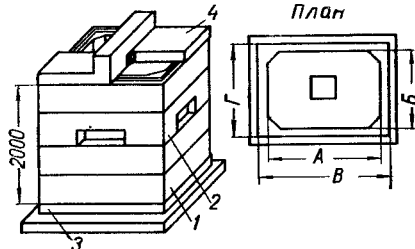


Рис. VII.2. Сборная железобетонная камера из прямоугольных блоков
1 — стеновой блок без отверстий; 2 — стеновой блок с отверстиями; 3 — блок днища; 4 — блок перекрытия

Блок днища — прямоугольной формы, по четырем сторонам которой выпущены арматурные петли.

Плита перекрытия имеет прямоугольную форму, в которой устроены отверстия для люков.

Минимальное заглубление камер принимается разным 0,3 м, считая от поверхности земли или дорожного покрытия до верха перекрытия. Расположение отверстий в стенках

блоках по высоте принято на основании наиболее часто встречающихся в практике проектирования глубин заложения

а) Общий вид

б) Общий вид

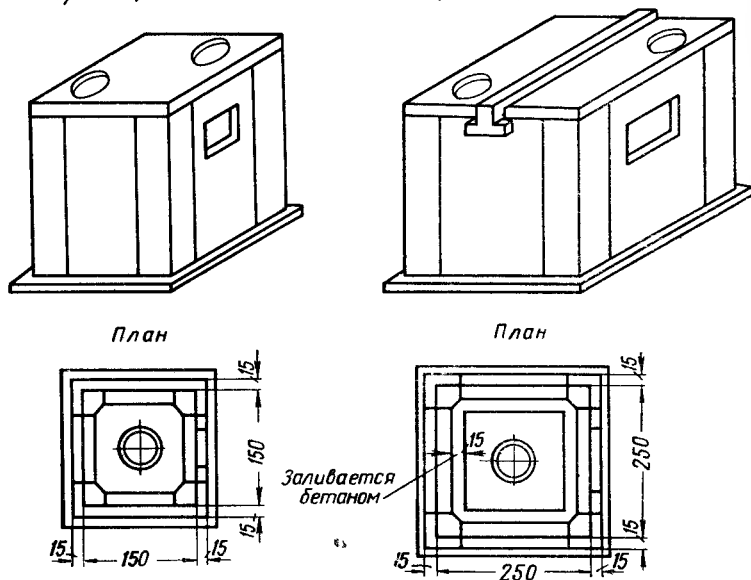


Рис. VII.3. Прямоугольные камеры из вертикальных стеновых блоков
а — размером 150×150 см; б — размером 250×250 см

теплопроводов порядка 1—1,5 м. При более глубоком заложении теплопроводов увеличивается высота засыпки над верхом перекрытия путем заглубления дна камеры.

Монтаж камер из вертикальных блоков осуществляется в следующей последовательности. В открытом котловане делается подготовка из бетона М-75. На подготовку устанавливаются блоки днища и угловые и средние стеновые блоки по слою цементного раствора, что обеспечивает правильное их положение. После пропуска арматуры и перевязки ее с петлевой арматурой блоков зазор между стеновыми блоками и блоком днища заполняется бетоном М-200. Швы между стеновыми блоками заделываются цементным раствором марки М-50 путем заливки его сверху в пазы.

По верху стеновых блоков укладываются балка и плиты перекрытия на цементном растворе. Швы между плитами также заделываются цементным раствором.

Наружные поверхности стен и перекрытия покрываются слоем горячего битума за 2 раза. При расположении камер в условиях высокого уровня грунтовых вод предусматривается устройство оклеечной гидроизоляции из двух слоев гидроизола. В отдельных случаях может быть применена наружная штукатурка водонепроницаемым цементным раствором.

Достоинствами описанной конструкции сборных прямоугольных камер являются простота изготовления блоков и легкость их транспортирования и монтажа.

Основным преимуществом конструкции сборных камер со стенками из вертикальных блоков является однотипность стеновых блоков камер и полупроходных каналов, различающихся только размером по высоте. Это значительно упрощает организацию изготовления всех сборных деталей теплосетей на заводе. Благодаря простой конфигурации блоков их изготовление не вызывает никаких трудностей для любой строительной организации в любое время года. Монтаж камеры не требует тяжелого оборудования и приспособлений для временного крепления блоков при сборке. Замоноличивание стыков блоков в условиях зимнего времени может быть выполнено изнутри камеры.

Большим достоинством конструкции является ее устойчивость, достигаемая замоноличиванием блоков стен с блоками днища.

Применение сборных камер круглого и прямоугольного очертаний дает возможность полностью индустриализировать строительство тепловых сетей. Из сборных блоков описанных выше типов могут быть сооружены камеры больших габаритов. Для сооружения камер больших габаритов наибольшее применение получили бетонные блоки прямоугольной формы. Блоки изготавливаются из бетона М-100, имеют размеры по длине 1; 1,5 и 2 м и сечение 0,5×0,6 м. Из этих бетонных блоков выполняются стены камер всех размеров в плане и по высоте. При высоте камер более 2 м в горизонтальные швы между блоками укладываются арматурные сетки. Если размеры камеры в плане требуют вставки блоков размеров меньших,

чем 1 м, то промежутки между типовыми блоками заполняются монолитным бетоном.

Камеры больших габаритов для теплопроводов крупных диаметров выполняются из монолитного железобетона.

Институтом Мосинжпроект разработаны унифицированные камеры из сборных железобетонных вибропрокатных панелей для подземных коммуникаций. Камеры могут быть применены для теплофикационных трубопроводов диаметром до 600 мм, а также водопроводов диаметром до 900 мм и газопроводов диаметром до 600 мм.

В этих камерах размещаются арматура и оборудование наиболее характерных узлов тепловых сетей.

Камеры сооружаются из отдельных объемных элементов — кабин, собираемых на заводе из прямоугольных железобетонных плит (рис. VII.4). Объемные кабины собираются из плит днища, перекрытия, стен и продольных рам. Плиты изготавливаются методом непрерывного вибропроката на станах системы инж. Н. Я. Козлова. Объединение плит между собой производится на косынках, привариваемых к закладным деталям.

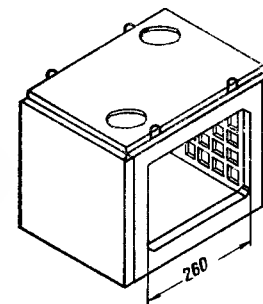
Устройство кабины допускает без нарушения ее устойчивости снимать плиту перекрытия при производстве монтажных работ или замене оборудования. Путем комбинации нескольких кабин могут быть получены различные виды камер для размещения оборудования теплопроводов. Неподвижные опоры из монолитного железобетона устраиваются между двумя смежными кабинами. Неподвижные щитовые опоры могут располагаться вне пределов камеры, что обычно делается при устройстве камер для ответвлений теплопроводов. На рис. VII.5 представлена схема камеры для размещения сальниковых компенсаторов и ответвлений, составленная из двух кабин.

2. СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ КАМЕР

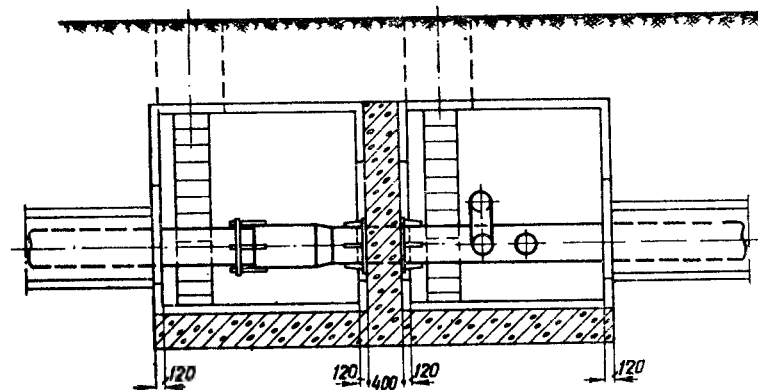
Как показал опыт проектирования и строительства тепловых сетей, для размещения оборудования теплопроводов диаметром от 25 до 600 мм достаточно иметь 14 типов габаритов камер. Для этих типовых камер разработаны приводимые ниже сборные железобетонные перекрытия, состоящие из плит и балок. Количество основных типоразмеров плит перекрытия — 11, балок — 7; дополнительно имеется 5 типоразмеров плит с уменьшенной по сравнению с основными шириной.

Плиты перекрытия выполняются двух видов: сплошные и с отверстиями для люков. Балки перекрытия имеют тавровое сечение. Основные размеры и данные по расходу материалов для сборных железобетонных плит и балок даны на рис. VII.6 и в табл. VII.1. Примеры компоновки сборных деталей в перекрытиях типовых камер даны на рис. VII.7.

Рис. VII.4. Общий вид кабины



Па 1-1



План

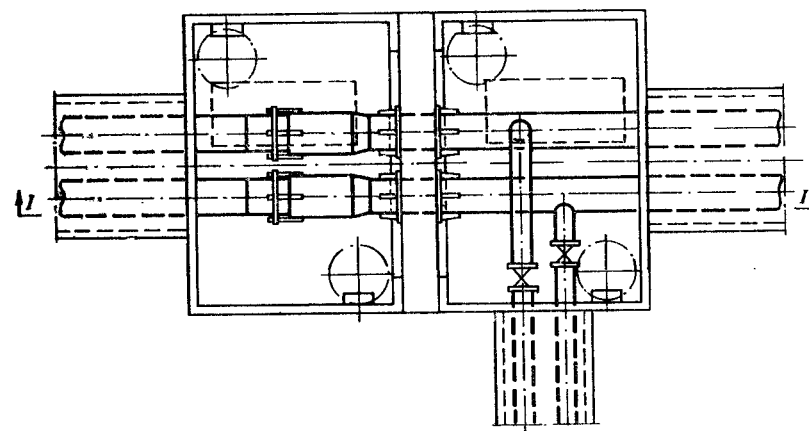


Рис. VII.5. Схема камеры из вибропрокатных панелей

Размеры и расход материалов на плиты
и балки перекрытия камер

Тип плиты или балки	Размеры в мм			Расход материала	
	B	C	H	бетона М-200 в м³	арматура в кг
Плиты					
П-2	1050	525	120	0,19	48,7
П-3	1300	775	140	0,214	47,9
П-4	1550	1025	160	0,26	59,7
П-5	1700	1175	180	0,30	63,6
П-6	1300	200	250	0,22	65,7
П-7	1550	450	250	0,30	51,5
П-8	1050	1000	100	0,11	12,4
П-8А	1050	300	100	0,03	5,2
П-9	1300	1000	120	0,17	25,4
П-9А	1300	300	120	0,05	9,3
П-10	1550	1000	140	0,22	30,6
П-10А	1550	300	140	0,07	10,6
П-10Б	1550	500	140	0,11	17,9
П-11	1700	1000	160	0,27	28,7
П-11А	1700	300	160	0,08	11,5
Балки					
БК-1	2000	250	300	0,22	36,9
БК-2	2500	250	300	0,28	54,2
БК-3	3000	250	450	0,45	67,6
БК-4	3500	300	500	0,65	81,4
БК-5	4000	300	500	0,75	118,3
БК-6	4500	300	550	0,91	118
БК-7	5760	300	550	1,16	222,3

Укладка плит на выступающие полки тавровых балок и стены камеры производится по слою цементного раствора. Поверхность перекрытия камер штукатурится цементным раствором и покрывается двумя слоями гидроизоляции на битуме. Монтаж балок и плит при сборке перекрытия производится автокраном.

3. СБОРНЫЕ НИШИ ДЛЯ П-ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Компенсация тепловых удлинений теплопроводов часто осуществляется при помощи гибких П-образных компенсаторов, устанавливаемых между неподвижными опорами. Этот способ компенсации оправдал себя в эксплуатации, так как является вполне надежным и не требует обслуживания и систематического ремонта компенсирующих устройств.

П-образные компенсаторы размещаются в нишах, представляющих собой уширение канала; ниши, как правило, имеют непроходное сечение; высота ниши принимается равной высоте канала (рис. VII.8).

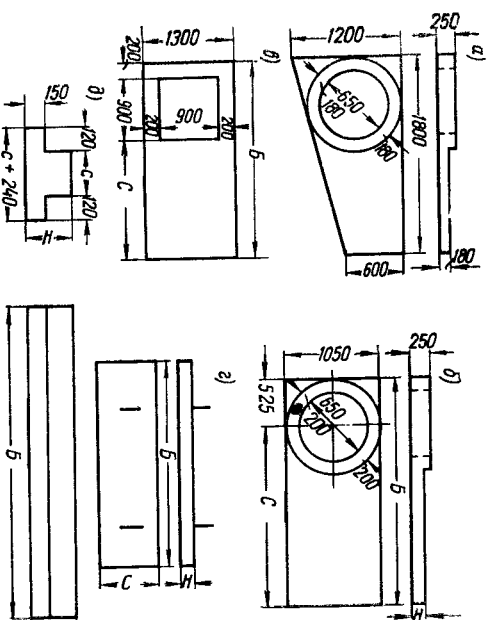


Рис. VII.6. Плиты сборных перекрытий камер
а — плита П-1 (объем бетона на 1 плиту 0,27 м³, вес арматуры 7,5 кг); б — плиты П-2, П-3, П-4 и П-5; в — плиты П-6 и П-7; г — плиты П-8, П-8А, П-9, П-9А, П-10, П-10А, П-10Б, П-11 и П-11А; д — балки БК-1 — БК-7

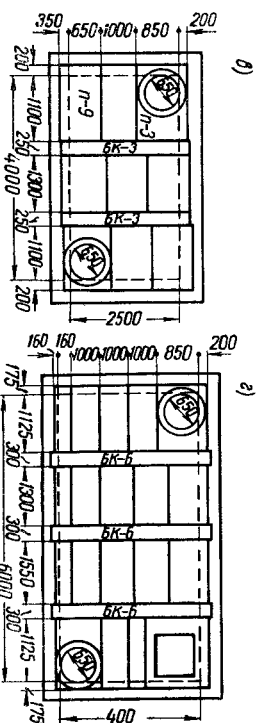
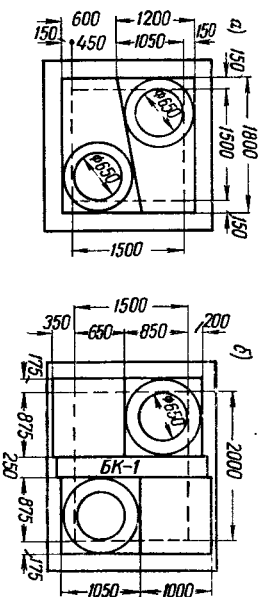


Рис. VII.7. Компоновка сборных перекрытий камер
а — сечением 1,5×1,5 м; б — сечением 1,5×2 м; в — сечением 4×2,5 м;
г — сечением 6×4 м

В строительстве московских тепловых сетей применялись сборные ниши компенсаторов, конструкция которых весьма проста. Для монтажа ниш помимо сборных элементов непроходных каналов — блоков стен и плит перекрытия — требуется иметь два дополнительных элемента: угловой стеновой блок и ребристую плиту перекрытия (рис. VII.9).

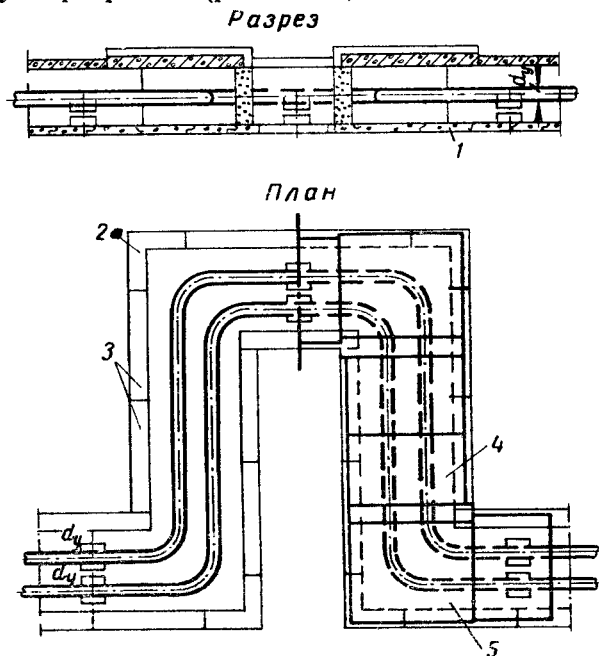


Рис. VII.8. Сборные ниши П-образных компенсаторов
1 — подготовка (бетон М-75); 2 — угловой блок; 3 — стеновой блок; 4 — плиты перекрытия; 5 — ребристый блок

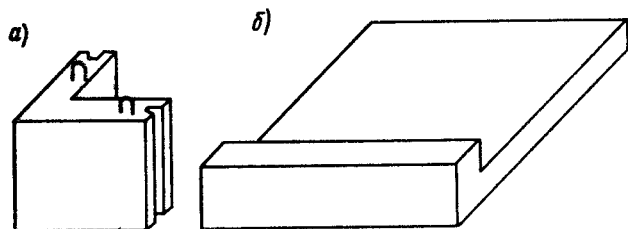


Рис. VII.9. Бетонные блоки ниш
а — угловой; б — перекрытия

Угловые блоки стен устанавливаются в углах ниш. Ребристая железобетонная плита предназначена для перекрытия углов поворотов ниши. В разработанных типовых конструкциях сборных ниш предусмотрено применение минимального количества типоразмеров угловых блоков и ребристых плит.

Сооружение ниши из сборных элементов ведется в следующей последовательности. По дну котлована устраивается бетонная подготовка, служащая полом ниши. На бетонных опорных плитах под скользящие опоры теплопроводов укладываются и свариваются компенсаторы для подающей и обратной труб; после растяжки компенсаторов производится их изоляция. На бетонный пол по слою цементного раствора устанавливаются стеновые блоки с заделкой стыков между ними раствором. Ниша перекрывается сборными железобетонными плитами на цементном растворе с заделкой швов. Наружные поверхности ниши покрываются слоем горячего битума за 2 раза.

4. НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

В качестве основной конструкции неподвижной опоры для труб диаметром до 400 мм при усилиях до 50 т принята щитовая конструкция, которая представляет собой прямоугольный щит с круглыми отверстиями для пропуска теплопроводов (рис. VII.10). Основные размеры опор, разработанных для непроходных каналов, и расход материалов даны в табл. VII.2.

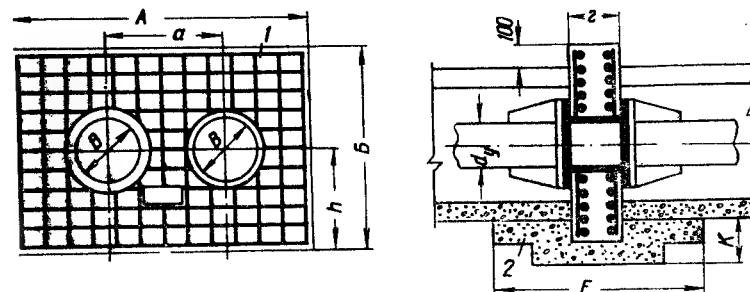


Рис. VII.10. Щитовые железобетонные неподвижные опоры теплопроводов
1 — бетон М-150; 2 — бетон М-75

При расчете щитовых неподвижных опор принято опирание их только на стены канала. Опирание на перекрытие и дно канала при расчете не учитывалось, так как опора должна работать при снятом сборном перекрытии канала (аварийный ремонт), а дно канала не является конструктивным элементом.

Щитовые сборные опоры выполняются с двойным симметричным армированием, так как действующие усилия от труб могут быть направлены в противоположные стороны. Такие опоры применимы для прокладки теплопроводов в цилиндрических оболочках при условии проверки устойчивости опор на закрепление их с грунтом.

Таблица VII.2

Основные размеры и расход материалов на 1 пог. м
щитовых неподвижных опор в непроходных каналах

Условный диаметр трубопровода d_y в мм	Основные размеры в мм								Расход материалов на 1 опору в м³	
	A	B	B	g	h	K	E	a	железобетона М-150	бетона М-75
25	1100	700	50	100	355	280	700	240	0,07	0,15
32	1100	700	50	100	360	280	700	240	0,07	0,15
40	1100	700	70	100	365	280	700	240	0,07	0,15
50	1100	700	80	100	355	215	700	240	0,07	0,15
80	1400	900	110	150	550	395	850	280	0,18	0,24
100	1400	900	130	150	490	320	850	320	0,18	0,24
125	1400	900	155	150	505	320	850	360	0,18	0,24
150	1400	900	180	150	510	310	850	400	0,18	0,24
200	2000	1100	240	200	645	415	1050	460	0,42	0,58
250	2000	1100	300	250	610	340	1050	520	0,52	0,58
300	2500	1400	340	300	835	545	1400	580	1	1,19
350	2500	1400	400	350	790	470	1400	650	1,12	1,19
400	2500	1400	440	400	810	460	1400	720	1,27	1,19

При большом объеме строительства тепловых сетей представляется правильным производить заготовку щитовых опор для труб малых и средних диаметров «на склад», поскольку равномерное размещение заказов на небольшое количество сборных деталей бывает затруднительным.

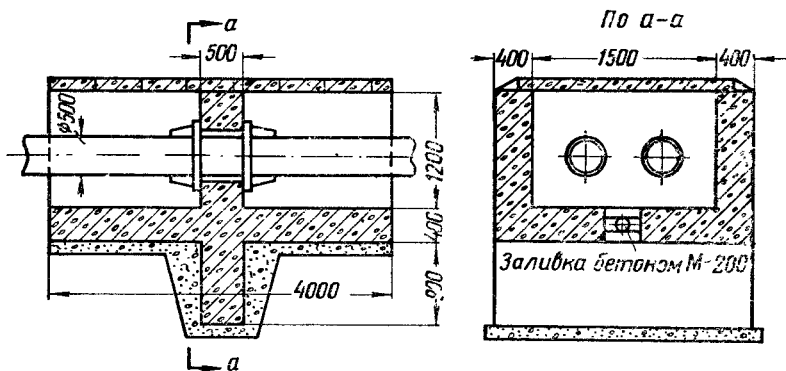


Рис. VII.11. Сборная железобетонная неподвижная опора таврового профиля

Для теплопроводов диаметром более 400 мм и при больших усилиях разработана конструкция сборных неподвижных опор таврового вида (рис. VII.11). Тавровые неподвижные опоры удерживают передаваемые теплопроводами усилия главным образом за счет сопротивления грунта по выступающим частям

конструкции. При больших усилиях, превышающих 50 т, опоры снабжаются зубом, располагаемым ниже их основания.

Сборная конструкция тавровой опоры состоит из пяти элементов двух основных типов: углового блока, из которого составляются стенки и дно опоры, и щитового блока, объединяющего диафрагму и зуб (рис. VII.12).

Соединение сборных элементов производится бетонированием выпусков арматуры. Перекрытие тавровых опор выполняется из обычных сборных железобетонных плит перекрытия каналов.

Неподвижные опоры для теплопроводов больших диаметров в настоящее время выполняются из монолитного железобетона. Для разгруженных неподвижных опор применяются железобетонные щиты, передающие горизонтальные осевые усилия от теплопроводов непосредственно на конструкцию канала или на грунт. Неразгруженные неподвижные опоры, воспринимающие неуравновешенное гидравлическое давление и силы трения в скользящих опорах теплопроводов, выполняются в виде камер из монолитного железобетона с устройством зуба или щитов для увеличения сопротивления сдвигающему усилию. (рис. VII. 13).

Камера неподвижной опоры может быть использована для размещения оборудования теплопроводов (задвижек, сальниковых компенсаторов и пр.); в этом случае внутренние габариты камеры выбираются с учетом размещения в ней оборудования. Расчетные горизонтальные усилия на такие опоры достигают 400 т. При расчете устойчивости опор учитываются силы трения, возникающие по днищу и боковым поверхностям камеры. Пассивное сопротивление грунта по торцовым поверхностям камеры и зуба учитывается при ненарушенной структуре грунта и с введением в расчет фактических его характеристик по данным изысканий.

При проектировании неподвижных опор таврового типа или в виде железобетонных камер они рассчитываются как фундаменты, нагруженные вертикальными и горизонтальными силами.

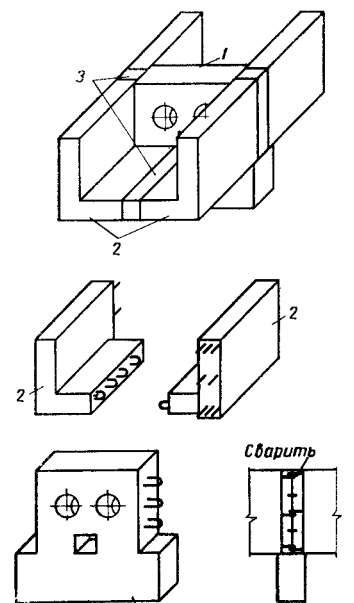


Рис. VII.12. Общий вид и детали железобетонной неподвижной опоры таврового профиля
1 — щитовой блок; 2 — угловой блок; 3 — стыки, заливаемые бетоном

Нормальное напряжение в грунте определяется с учетом действия моментов в двух плоскостях.

Зону отрыва допускается принимать:

- а) при наличии момента, действующего в одном направлении, равной 0,33 от полной площади фундамента;
- б) при наличии моментов, действующих в двух направлениях, равной 0,2 от полной площади фундамента в каждом направлении.

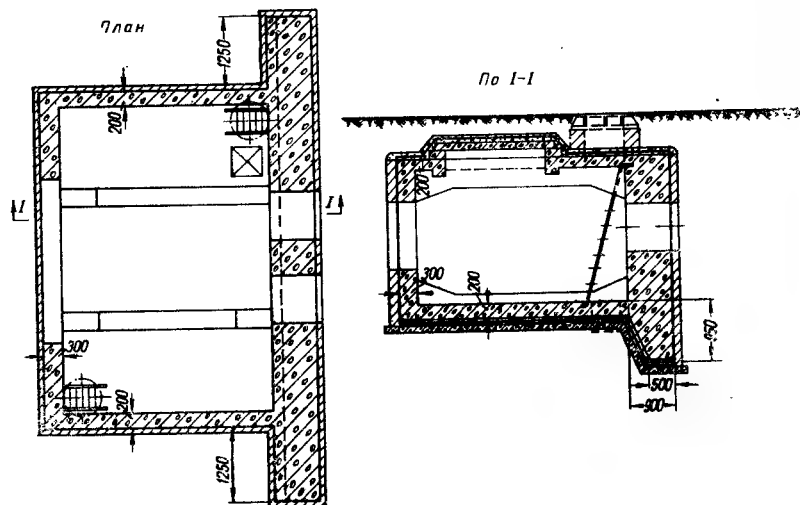


Рис. VII.13. Неподвижная опора в виде камеры из монолитного железобетона

Конструкции неподвижных опор должны проверяться на устойчивость против опрокидывания и скольжения.

При применении специальных конструктивных решений для увеличения сопротивления опор скольжению (устройство зуба, удерживающего анкера и т. п.) помимо сил трения учитывается сопротивление грунта, обусловленное этими конструкциями. Вопрос устойчивости неподвижных опор требует дополнительной разработки и проведения экспериментальных исследований.

Разработка методики определения горизонтальных перемещений неподвижных опор, удерживаемых сопротивлением грунта, имеет большое значение для проектирования их конструкций. Небольшие смещения неподвижных опор не влияют на надежность работы теплопроводов. Однако эти смещения не должны достигать больших величин, и их необходимо учитывать при проектировании трубопроводов. Так, при сальниковой компен-

сации теплопроводов величина смещения неподвижных опор должна компенсироваться определенным запасом хода компенсатора. Условие допустимости некоторого смещения неподвижных опор позволяет в ряде случаев учитывать при расчете устойчивости пассивное сопротивление грунта, что значительно облегчает конструкцию опор.

Глава VIII

КОНСТРУКЦИИ НАДЗЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

1. СПОСОБЫ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Надземная прокладка теплопроводов широко применяется в тепловых сетях промышленных предприятий. Теплопроводы часто прокладываются на эстакадах и мачтах совместно с производственными паропроводами и технологическими трубопроводами.

Значительные преимущества приобретает надземный способ прокладки по сравнению с подземным при строительстве тепловых сетей на территориях с высоким уровнем стояния грунтовых вод, а также в районах вечной мерзлоты.

Конструкция тепловой изоляции и собственно трубопровод при воздушной прокладке не подвергаются разрушающему действию грунтовой влаги, поэтому существенно повышается его долговечность и снижаются тепловые потери.

При благоприятных грунтовых условиях по стоимости капитальных затрат и расходу строительных материалов воздушные прокладки несколько экономичнее подземных прокладок в непроходных каналах; при неблагоприятных гидрогеологических условиях надземная прокладка экономичнее на 30—40 %.

В городских условиях воздушный способ прокладки не получил распространения из-за архитектурных требований, предъявляемых к оформлению городских проездов и зданий. Однако, располагая трассу теплопроводов по дворам и используя стены зданий для крепления кронштейнов под опоры, можно избежать установки мачт и колонн в пределах уличных проездов и свести к минимуму нарушение архитектурного оформления отдельных зданий и внешнего вида улиц.

При строительстве тепломагистралей от теплоэлектроцентралей, находящихся на периферии города, надземная прокладка теплопроводов осуществляется довольно часто, особенно на территориях, не предназначенных к застройке жилыми зданиями.

В настоящее время находят применение следующие основные типы надземных прокладок:

- 1) на отдельно стоящих мачтах (колоннах, рис. VIII.1);

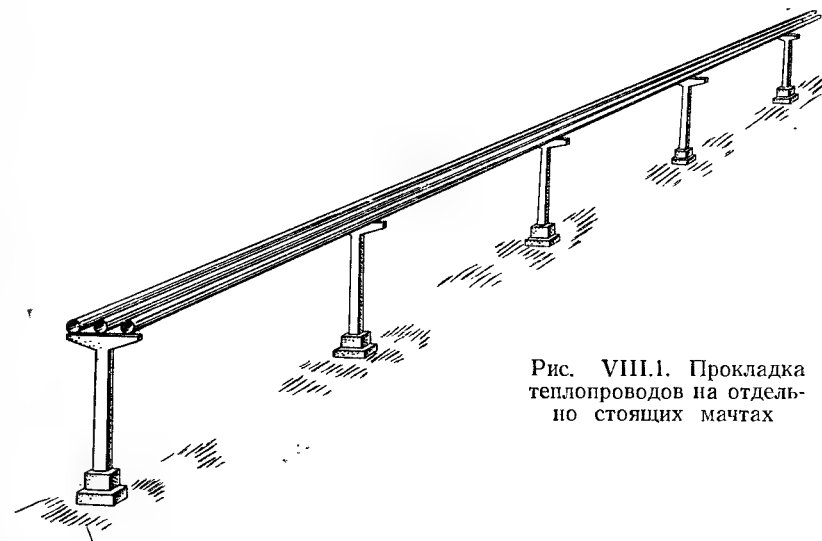


Рис. VIII.1. Прокладка теплопроводов на отдельно стоящих мачтах

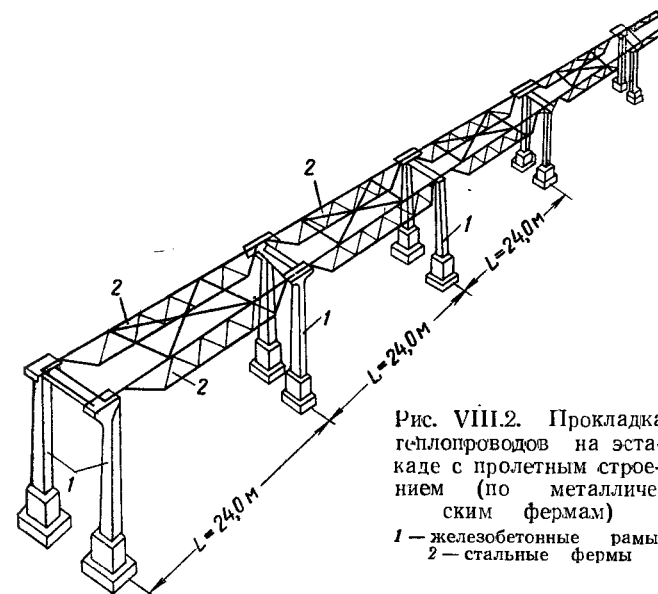


Рис. VIII.2. Прокладка теплопроводов на эстакаде с пролетным строением (по металлическим фермам)
1 — железобетонные рамы;
2 — стальные фермы

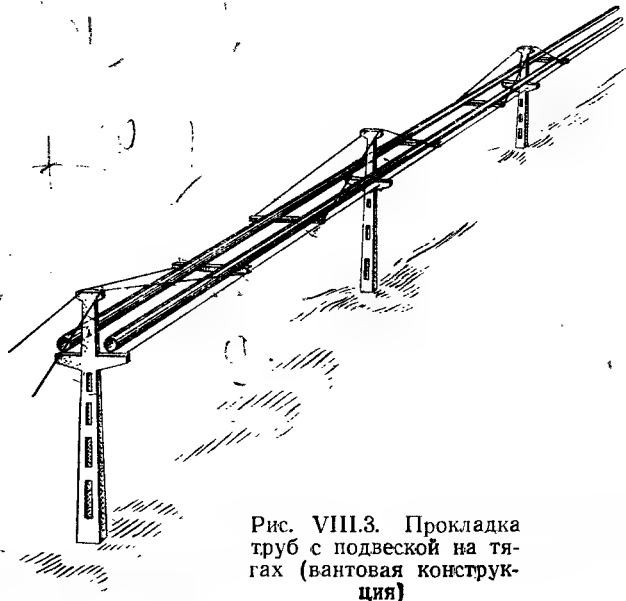


Рис. VIII.3. Прокладка труб с подвеской на тросах (вантовая конструкция)



Рис. VIII.4. Прокладка теплопроводов на кронштейнах

2) на эстакадах со сплошным пролетным строением в виде ферм или балок (рис. VIII.2);

3) на тягах, прикрепленных к верхушкам мачт (вантовая конструкция, рис. VIII.3);

4) на кронштейнах (рис. VIII.4).

Прокладки первого типа наиболее рациональны для трубопроводов диаметром 500 мм и более. Трубопроводы большого диаметра при этом могут быть использованы в качестве несущих конструкций для укладки или подвески к ним нескольких трубопроводов малого диаметра, требующих более частой установки опор.

Прокладки по эстакаде со сплошным настилом для прохода целесообразно применять только при большом количестве труб (не менее 5—6 шт.), а также при необходимости регулярного надзора за ними. По стоимости конструкция проходной эстакады наиболее дорогая и требует наибольшего расхода металла, так как фермы или балочный настил обычно изготавливаются из прокатной стали.

Прокладка третьего типа с подвесной (вантовой) конструкцией пролетного строения является наиболее экономичной, так как позволяет значительно увеличить расстояния между мачтами и тем самым уменьшить расход строительных материалов, поэтому ей следует отдать предпочтение по сравнению с двумя предыдущими. Наиболее простые конструктивные формы подвесная прокладка получает при трубопроводах равного или близкого между собой диаметра.

При совместной укладке трубопроводов большого и малого диаметра применяется несколько видоизмененная вантовая конструкция с прогонами из швеллеров, подвешенных на тягах. Прогонны позволяют устанавливать опоры трубопроводов между мачтами. В отдельных случаях надземная прокладка теплопроводов может быть выполнена на низких опорах — высотой 1—1,5 м от поверхности земли. Этот тип прокладки осуществим только на непроезжих территориях.

2. КОНСТРУКЦИЯ МАЧТ И ОПОР

Мачты и опоры, как правило, выполняются из железобетона. Металлические мачты применяются в исключительных случаях при малом объеме работ и реконструкции существующих тепловых сетей.

Мачты по своему назначению делятся на следующие типы:
а) для подвижных опор трубопроводов (так называемые промежуточные);

б) для неподвижных опор трубопроводов (анкерные), а также устанавливаемые в начале и конце участка трассы;

в) устанавливаемые на поворотах трассы;

г) служащие для опирания компенсаторов трубопроводов.

В зависимости от количества, диаметра и назначения прокладываемых трубопроводов мачты выполняются трех различных конструктивных форм: одностоечными, двухстоечными (рис. VIII.5) и четырехстоечными пространственной конструкции.

При проектировании воздушных прокладок всегда следует стремиться к возможно большему увеличению расстояний между мачтами.

Однако для беспрепятственного стока воды или конденсата при выключении трубопроводов максимальный прогиб не должен превышать величины

$$f = 0,25 il, \quad (\text{VIII.1})$$

где f — прогиб трубопровода в середине пролета в см;

i — уклон оси трубопровода;

l — расстояние между опорами в см.

Сборные железобетонные конструкции мачт обычно собираются из следующих элементов: стоек (колонн), ригелей и фундаментов. Размеры сборных деталей определяются количеством и диаметром укладываемых трубопроводов.

При прокладке от одного до трех трубопроводов в зависимости от диаметра при-

меняются одностоечные отдельно стоящие мачты с консолями. Они пригодны и при вантовой подвеске труб на тягах; тогда предусматривается устройство верхушки для крепления тяг (см. рис. VIII.5).

Мачты сплошного прямоугольного сечения допустимы, если максимальные размеры поперечного сечения не превосходят 300×400 мм. При больших размерах для облегчения конструкции рекомендуется предусматривать вырезы по нейтральной оси или применять в качестве стоек центрифугированные железобетонные трубы заводского изготовления.

Для многотрубных прокладок мачты промежуточных опор

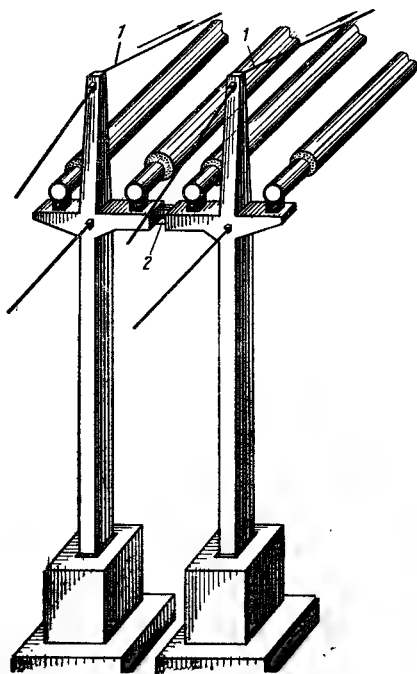


Рис. VIII.5. Двухстоечная железобетонная мачта сборной конструкции для подвижных опор трубопроводов
1 — тяги к подвесным опорам; 2 — стык консолей (залитывается бетоном)

чаще всего проектируются двухстоечной конструкции, одноярусные или двухъярусные.

Сборные двухстоечные мачты состоят из следующих элементов: двух стоек с одной или двумя консолями, одного или двух ригелей и двух фундаментов стаканного типа.

Мачты, на которых трубопроводы закрепляются неподвижно, испытывают нагрузку от горизонтально направленных усилий, передаваемых трубопроводами, которые проложены на высоте 5—6 м от поверхности грунта. Такие мачты для увеличения устойчивости проектируются в виде четырехстоечной пространственной конструкции, которая состоит из четырех стоек и четырех или восьми ригелей (при двухъярусном расположении трубопроводов). Устанавливаются мачты на четырех отдельных фундаментах стаканного типа.

При надземной прокладке теплопроводов больших диаметров используется несущая способность самих труб, и поэтому не требуется устройства какого-либо пролетного строения между мачтами. Не следует применять и подвеску теплопроводов большого диаметра на тягах, так как такая конструкция практически работать не будет. В качестве примера приведена прокладка теплопроводов на железобетонных мачтах, запроектированная и осуществленная в Москве (рис. VIII.6).

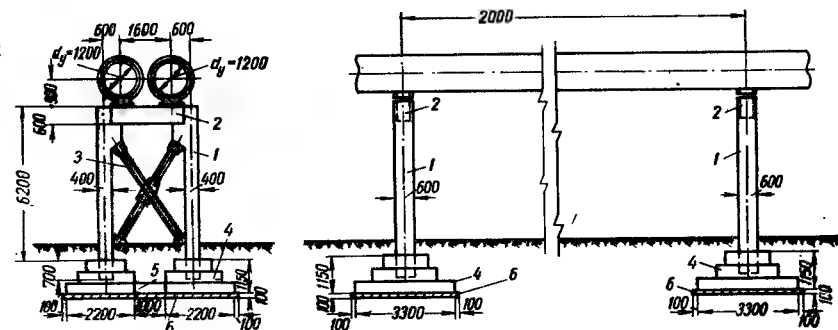


Рис. VIII.6. Прокладка теплопроводов на железобетонных мачтах
1 — колонна; 2 — ригель; 3 — связь; 4 — фундамент; 5 — соединительный стык; 6 — бетонная подготовка М-75

Два теплопровода (прямой и обратный) диаметром 1200 мм уложены на катковых опорах по железобетонным мачтам, установленным через 20 м. Высота мачт от поверхности земли колеблется в пределах 5,5—6 м. Сборные железобетонные мачты состоят из двух фундаментов, связанных между собой монолитным стыком, двух колонн прямоугольного сечения 400×600 мм и ригеля. Колонны связаны между собой металлическими диагональными связями из угловой стали. Соединение связей с колоннами выполнено при помощи косынок, приваренных к заклад-

ным деталям, которые заделаны в колоннах. Ригель, служащий опорой для теплопроводов, выполнен в виде прямоугольной балки сечением 600×370 мм. Он крепится к колоннам путем сварки закладных стальных листов.

Мачта рассчитана на вес пролета труб, горизонтальные осевые и боковые усилия, возникающие от трения теплопроводов на катковых опорах, а также на ветровую нагрузку.

Неподвижная опора, рассчитанная на горизонтальное усилие от двух труб (30 Т), выполнена из сборных железобетонных деталей: четырех колонн, двух продольных ригелей, одного поперечного опорного ригеля и четырех фундаментов, соединенных попарно (рис. VIII.7).

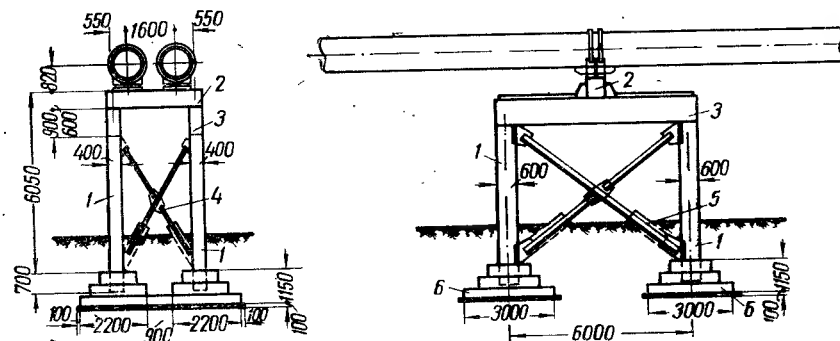


Рис. VIII.7. Мачта для неподвижной опоры

1 — колонна; 2 — ригель поперечный; 3 — ригель продольный; 4 — связь поперечная; 5 — связь продольная; 6 — фундамент

В продольном и поперечном направлениях колонны связаны металлическими диагональными связями, выполненными из уголкового стали.

На опорах теплопроводы закрепляются двумя хомутами, охватывающими трубы, и косынками в нижней части труб, которые упираются в металлическую раму из швеллеров. Эта рама прикрепляется к железобетонному ригелю опоры приваркой к закладным деталям.

Прокладка теплопроводов на низких опорах нашла широкое применение при строительстве тепловых сетей на неспланированной территории районов новой жилой застройки городов. Переход пересеченной или заболоченной местности, а также мелких рек целесообразнее осуществлять таким способом с использованием несущей способности труб.

Однако при проектировании тепловых сетей с прокладкой теплопроводов на низких опорах необходимо учитывать срок намеченного освоения территории, занятой трассой, под городскую

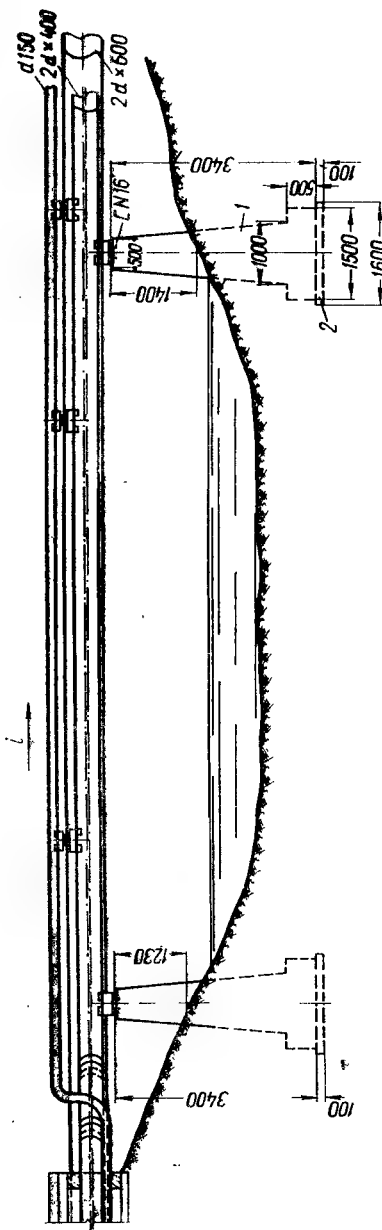
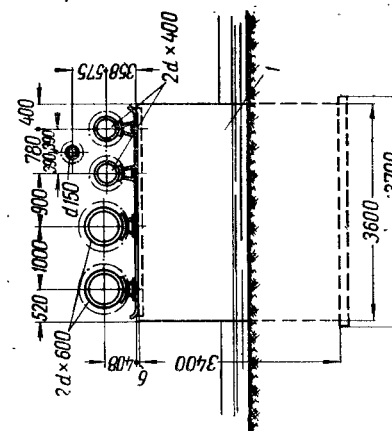


Рис. VIII.8. Переход теплопроводов на низких опорах

1 — бетон М-150; 2 — щебеночная подготовка



застройку. Если через 10—15 лет потребуется заключение теплопроводов в подземные каналы или реконструкция тепловой сети, то применение воздушной прокладки является нецелесообразной.

Для обоснования применения способа прокладки теплопроводов на низких опорах должны быть выполнены технико-экономические расчеты.

В качестве примера на рис. VIII.8 приведена прокладка теплопроводов и паропроводов на низких опорах через реку. Два теплопровода диаметром 600 мм, два паропровода диаметром 400 мм и один конденсатопровод проложены через реку на двух опорах, установленных в береговой части. Пролет между опорами составляет 12,5 м; с воздушного перехода трубопроводы уходят в подземные непроходные каналы.

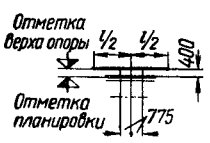
Теплопроводы и паропроводы опираются на швеллеры, уложенные по верху бетонных опор; конденсатопровод располагается на скользящих опорах, которые лежат на двух паропроводах.

При проектировании низких и высоких опор для прокладки теплопроводов могут быть использованы конструкции унифицированных сборных железобетонных отдельно стоящих опор, разработанных под технологические трубопроводы. Типовой проект этих опор разработан Харьковским Промстройпроектом и утвержден Госстроем СССР (серия ИС-01-06). Эта серия включает монтажные схемы, таблицы для подбора траверс и колонн, детали узлов сопряжения несущих конструкций опор, таблицы нагрузок на фундаменты и пр.

Габаритные схемы и нормативные суммарные вертикальные нагрузки на опоры приведены в табл. VIII.1, а номенклатура конструкций отдельно стоящих опор дана в табл. VIII.2.

Таблица VIII.1

Габаритные схемы и вертикальные технологические нагрузки на опору

Тип опоры	Габаритная схема	Размеры в мм	Нормативная суммарная вертикальная нагрузка на опору p в т	Примечания
I		$l/2 = 1200 \div 3000$	5—20	За отметку верха опоры принята верхняя грань траверсы

Продолжение табл. VIII.1

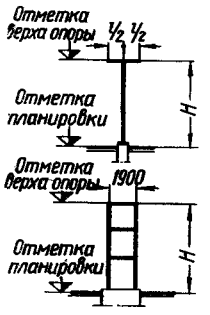
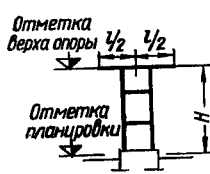
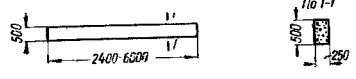
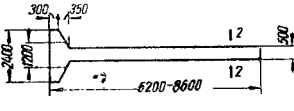
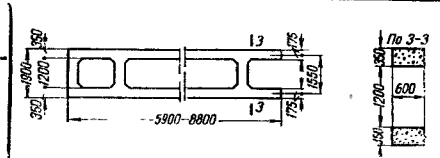
Тип опоры	Габаритная схема	Размеры в мм	Нормативная суммарная вертикальная нагрузка на опору p в т	Примечания
II		$l/2 = 600 \div 1200;$ $H = 5400 \div 7800$ $H = 5400 \div 7800$	5 10—40	За отметку верха опоры принята верхняя грань колонны
III		$l/2 = 1500 \div 3000;$ $H = 5400 \div 7800$	10—60	За отметку верха опоры принята верхняя грань траверсы

Таблица VIII.2

Номенклатура конструкций отдельно стоящих опор

Наименование конструкции	Эскиз конструкций	Количество типовых размеров	Примечания
Траверса		5	Траверсы выполняются в форме траверс двухъярусных эстакад
Промежуточная колонна		6	—

Наименование конструкции	Эскиз конструкций	Количество типов-размеров	Примечания
Промежуточная и анкерная колонны		6	Колонны выполняются в форме колонн серии КЭ-01-52

3. ПРОКЛАДКА ТЕПЛОПРОВОДОВ НА КРОНШТЕЙНАХ

Одним из наиболее распространенных способов воздушной прокладки теплопроводов является прокладка последних на кронштейнах, укрепляемых в стенах зданий. Применение этого способа может быть рекомендовано при прокладке тепловых сетей на территории промышленных предприятий.

При проектировании теплопроводов, располагаемых по наружной или внутренней поверхности стен, следует выбирать такое размещение труб, чтобы они не закрывали оконных проемов, не мешали размещению других трубопроводов, оборудования и пр. Наиболее важным является обеспечение надежного закрепления кронштейнов в стенах существующих зданий. Проектирование прокладки теплопроводов по стенам существующих зданий должно включать обследование стен в натуре и изучение проектов, по которым они построены. При значительных нагрузках, передаваемых теплопроводами на кронштейны, необходимо производить расчет общей устойчивости конструкций здания.

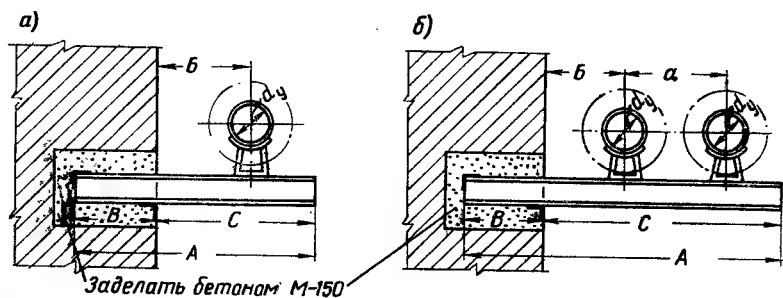


Рис. VIII.9. Прокладка теплопроводов на кронштейнах
а — для одной трубы; б — для двух труб

Выбор пролета теплопроводов, т. е. расстояний между кронштейнами, должен производиться с учетом несущей способности конструкции здания.

Таблица VIII.3

Основные размеры и расход материалов на кронштейны для прокладки теплопроводов

Условный диаметр теплопровода d_y в мм	Сечение кронштейна	Размеры в мм					Сортамент и длина в мм подкладки (2 шт.)	Объем бетона для заделки в м³	Вес конструкции в кг
		А	Б	В	С	а			
50	Л 50×50×6	450	150	150	300	—	—	0,03	2
80	Л 50×50×6	580	200	250	330	—	—	0,03	2,6
100	Л 50×50×6	730	200	380	350	—	—	0,03	3,3
125	Л 60×60×6	750	200	380	370	—	—	0,03	4,1
150	Л 80×80×8	780	250	380	400	—	—	0,03	7,6
200	Л № 10	930	270	510	420	—	Л № 6; l=200	0,05	11,5
250	Л № 14а	980	300	510	470	—	Л № 8; l=300	0,05	18,2
300	2 Л № 14а	1050	350	510	540	—	Л № 10; l=400	0,05	42
40	Л 40×40×4	740	150	250	490	240	—	0,005	1,6
50	Л 50×50×6	790	150	250	540	240	—	0,03	3
80	Л 80×80×8	990	200	380	610	280	—	0,03	7,5
100	Л № 10	1050	200	380	670	320	Л № 6; l=200	0,03	12,4
125	Л № 10	1110	200	380	730	360	Л № 6; l=200	0,03	13
150	Л № 14а	1410	250	510	800	400	Л № 6; l=300	0,03	23,2
200	2 Л № 14	1390	270	510	880	460	Л № 10; l=400	0,05	50,5

В случаях недостаточной надежности стен здания должны быть осуществлены конструктивные мероприятия по рассредоточению усилий, передаваемых кронштейнами, путем устройства подкосов, вертикальных стоек и др.

На рис. VIII.9 приведена типовая конструкция кронштейнов для прокладки одного или двух теплопроводов диаметром от 50 до 300 мм. В табл. VIII.3 приведены основные показатели конструкции кронштейнов.

Глава IX. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

1. ПОДВОДНЫЕ ТУННЕЛИ

При переходе теплопроводами рек сооружаются подводные теплофикационные туннели, которые представляют собой сложные инженерные сооружения.

Так, для передачи тепловой энергии через р. Москву был сооружен подводный теплофикационный туннель.

Туннель представляет собой металлический сварной цилиндр диаметром 2,5 м с толщиной стенок 12 и 16 мм (в местах перелома профиля), длиной 176 м, усиленный ребрами жесткости через каждые 3 м (рис. IX.1).

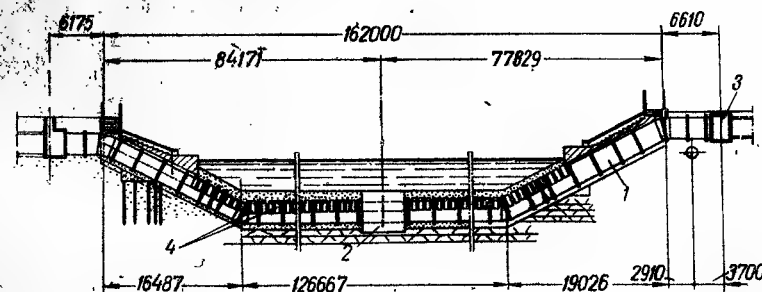


Рис. IX.1. Продольный разрез подводного теплофикационного туннеля № 1

1 — металлический туннель; 2 — неподвижная опора; 3 — камера; 4 — чугунные грузовые полукольца

В туннеле проложены два водяных теплопровода диаметром по 500 мм, два паропровода диаметром по 400 мм и два конденсатопровода диаметром 150 мм, а также предусматривалась возможность размещения водопровода (рис. IX.2).

Для удержания туннеля под водой произведена его пригрузка чугунными полукольцами, общий вес которых составляет 740 т.

Туннель в русловой части уложен горизонтально, а в береговых частях — наклонно под углом 25°.

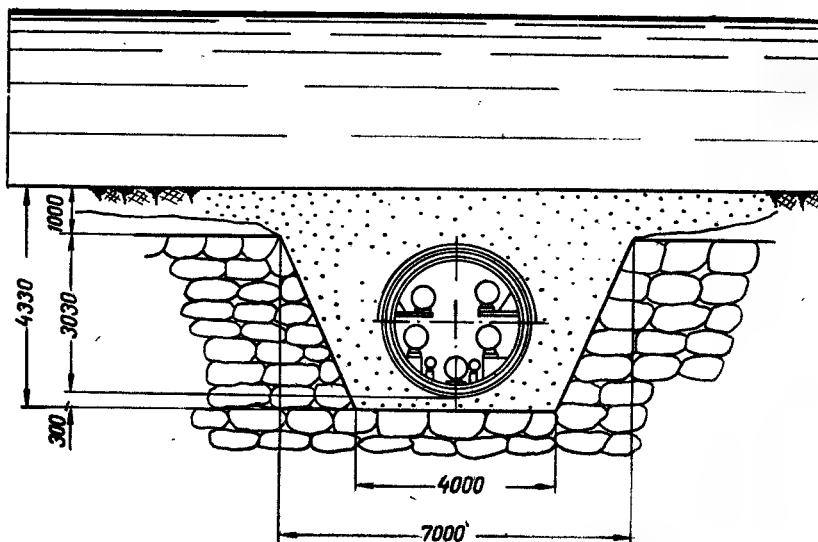


Рис. IX.2. Поперечное сечение подводного туннеля № 1

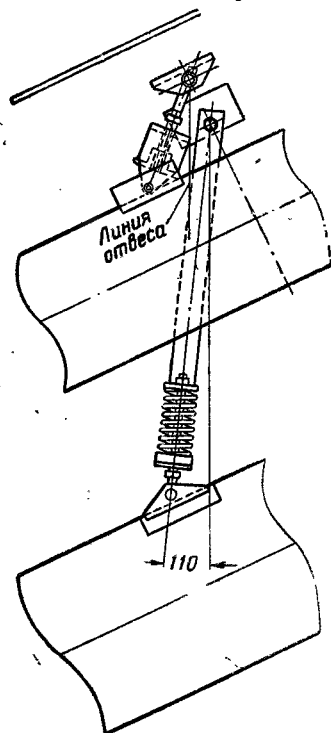


Рис. IX.3. Установка пружинных опор в наклонной части туннеля № 1

В средней части туннеля имеется бетонный массив для фиксации температурных удлинений металлической оболочки. Береговые концы туннеля входят в железобетонные камеры, в стенах которых устроены сальники, обеспечивающие непроницаемость соединения туннеля с камерами.

Туннель является проходным и доступным для обслуживания и ремонта теплопроводов. Он оборудован приточно-вытяжной вентиляцией, рассчитанной на поддержание внутренней температуры воздуха 40°C при нормальном режиме и 30°C при производстве ремонтных работ.

Компенсация тепловых удлинений теплопроводов предусмотрена естественной за счет наклонных участков труб, размещенных в туннеле, и горизонтальных береговых участков, находящихся вне его пределов и расположенных перпендикулярно оси туннеля. Горизонтальные участки трубопроводов уложены на катковых опорах, устанавливаемых на специальные приваренные к оболочке туннеля столики.

При расчете на компенсацию температурных перемещений водяных и паровых трубопроводов были приняты расчетные температуры теплоносителя соответственно 150 и 250°C .

Для обеспечения свободного перемещения трубопроводов, расположенных в наклонных частях туннеля, принята подвеска паропроводов, расположенных в верхней части сечения туннеля, на коротких маятниках с двухрядной пружиной и подвеска теплопроводов на рычаге с одной пружиной (рис. IX.3).

При монтаже подвесных опор им придавался наклон в сторону, противоположную направлению температурных удлинений трубопроводов, и пружина предварительно натягивалась.

Неподвижные опоры трубопроводов были расположены следующим образом: одна в середине туннеля и две на береговых горизонтальных участках в железобетонных туннелях, подходящих к подводному переходу. Неподвижные опоры были выполнены стоечными из прокатных металлических балок.

Расчет туннеля состоял из определения:

1) суммарных напряжений от продольных усилий в оболочке, возникающих от сил трения и отпора наклонной части туннеля при изменении температуры, а также от изгиба горизонтальной части туннеля при его температурном удлинении с учетом местных напряжений у колец жесткости;

2) суммарных кольцевых напряжений в оболочке от эксцентричного крепления пригрузки, бокового давления грунта и равномерного давления воды;

3) напряжений в кольцах жесткости от бокового давления грунта и веса трубопроводов, расположенных на консолях, а также от продольного давления грунта при температурном удлинении туннеля;

4) кольцевой и продольной устойчивости оболочки, а также устойчивости колец жесткости;

5) напряжений в оболочке при испытании туннеля от собственного веса и внутреннего давления жидкости (5 кг/см^2);

6) температурных напряжений при нагреве до 80°C (аварийный случай); температура монтажа принималась равной 10°C .

Расчет подводного туннеля был выполнен ГПИ Проектстальконструкция.

Сооружение туннеля выполнялось в следующей последовательности. На стапеле, организованном на расстоянии 1 км от места перехода, производилась сборка туннеля из отдельных звеньев, изготовленных на заводе и доставленных железнодорожным транспортом. Всего было собрано и сварено две русловые секции длиной 17—23 м, к которым были приварены заглушки. Наружная поверхность секций туннеля покрывалась гидроизоляцией и защищалась футеровкой из досок.

Одновременно велись работы по подготовке траншеи в месте погружения туннеля. Траншея разрабатывалась на глубине 7,5 м от уровня воды в реке и шириной 10 м.

Готовые секции туннеля были спущены со стапеля на воду и отбуксированы к месту погружения. Из двух русловых секций была собрана русловая часть туннеля длиной 136 м, которая была погружена на дно траншеи заливкой ее водой. Установленные по концам русловой части туннеля две плавучие опоры поддерживали при помощи тросов и лебедок колена наклонной части. Этими же лебедками регулировали скорости погружения русловой части и точную ее установку в створ перехода.

При помощи плавучего крана туннель был пригружен чугунными полукольцами. После откачки воды туннель был засыпан грунтом до уровня дна реки.

Второй теплофикационный металлический подводный туннель длиной 145 м через р. Москву для передачи тепловой энергии был запроектирован проектно-сметным бюро Гипроречтранса Министерства речного флота РСФСР (рис. IX.4).

Этот теплофикационный туннель предназначен для прокладки в нем двух паропроводов диаметром 500 мм, двух теплопроводов горячей воды диаметром 500 мм и одного конденсатопровода диаметром 200 мм (рис. IX.5). Туннель сваривается из цилиндрических секций диаметром 2500 мм в русловой части и диаметром 2800 мм на береговых участках. Толщина стенок туннеля принята: на русловом горизонтальном участке 14 мм и на береговых и прибереговых участках 16 мм; жесткость стенок туннеля увеличена за счет приварки ребер жесткости таврового сечения.

Русловой участок туннеля укладывается в траншею на гравийную постель толщиной 0,5 м. Над оболочкой туннеля укладывается слой грунта, равный 2 м, считая до проектной отметки дна реки. Концы металлического туннеля входят в специаль-

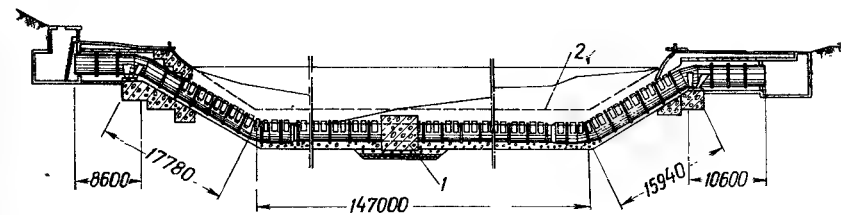


Рис. IX.4. Продольный разрез подводного теплофикационного металлического туннеля № 2

1 — неподвижная опора; 2 — поверхность обратной засыпки

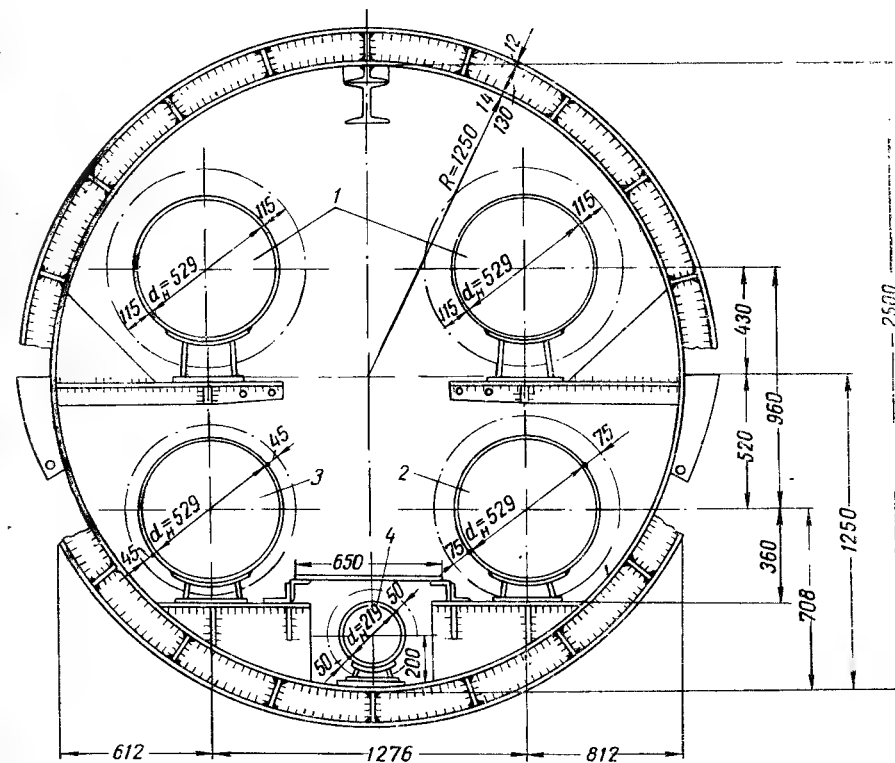


Рис. IX.5. Поперечный разрез туннеля № 2

1 — трубопроводы для пара; 2 — трубопровод для подающей воды; 3 — трубопровод для обратной воды; 4 — конденсатопровод

ные уплотнения в стенах железобетонных камер, позволяющие береговым секциям туннеля вдвигаться в камеры.

Наружная поверхность туннеля покрывается битумной грунтовкой, битуморезиновой мастикой слоем 3 мм и брызолом слоем 2,5 мм, а затем битуморезиновой мастикой и брызолом. Поверхность наружной изоляции защищается от повреждений сплошной футеровкой из брусков сечением 30×60 мм, закрепленной на оболочке туннеля хомутами из полосовой стали на болтах. Внутренняя поверхность туннеля и детали оборудования окрашиваются печным лаком за 2 раза.

Для предотвращения всплытия туннель балластируется железобетонными грузами, имеющими П-образную форму, и двумя рядами железобетонных балок, укладываемых на грузы.

В средней части русловой секции туннеля устраивается бетонный анкерный блок для фиксации перемещений металлического туннеля при температурных удлинениях.

Железобетонные береговые камеры, сооружаемые по концам туннеля, сопрягаются с подземными туннелями, в которых размещаются теплопроводы и паропроводы.

Строительство туннеля включает следующие основные работы: подготовительные, земляные, сварочно-монтажные на стапеле, укладку туннеля в подводную и береговые траншеи, его балластировку.

В состав земляных работ по строительству туннеля входит разработка траншей и котлованов, а также их засыпка после прокладки туннеля.

Сварочно-монтажные работы на стапеле состоят из монтажа и сварки стыков между элементами оболочки туннеля. Приварка к оболочке ребер жесткости, опор для балластных грузов и устройство внутри туннеля полок для крепления трубопроводов осуществляется заводом — изготовителем оболочки.

Укладка туннеля в подводную траншею осуществляется после окончания земляных работ по разработке русловой и береговых траншей, отсыпки гравийной постели до проектных отметок. После размещения русловой секции в створе перехода осуществляется ее опускание на дно подводной траншеи путем постепенного залива балластной водой насосами с одного берега. Контроль за равномерным опусканием русловой секции обеспечивается постоянным наблюдением отметок на трех рейках, установленных в трех пунктах опускаемой части туннеля (в середине и у обоих концов). По достижении нулевой плавучести залив приостанавливается. Затем дополнительной заливкой 2 м³ воды создается отрицательная плавучесть туннеля в 2 т и сравливанием тросов с лебедок, установленных на плавучих опорах у обоих берегов, производится равномерное опускание русловой секции на дно траншеи.

При укладке русловой секции на гравийную постель дна траншеи необходимо следить за плотным прилеганием туннеля,

для чего производится подмыв гравия у ребер жесткости. После укладки русловой секции производится заводка береговых секций, а затем заводка и укладка прибрежных секций туннеля.

После выполнения указанных выше работ устанавливается опалубка для бетонирования руслового анкерного массива и производится балластировка оболочки туннеля железобетонными грузами и балками.

Только после окончания балластировки туннеля грузами, засыпки траншеи песком и полного затвердения бетонного массива может быть произведена откачка балластной воды из туннеля и вырезка концевых заглушек.

2. ПОДВОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ДЮКЕРАХ

При необходимости перехода теплопроводами небольших рек наиболее приемлемым решением является сооружение дюкеров из стальных труб (футляров).

Например, переход двух теплопроводов диаметром 630 мм через водоотводный канал р. Москвы (рис. IX.6) осуществлен при помощи двух дюкеров из труб диаметром 1020 мм.

Обе нитки дюкеров уложены параллельно друг другу с уклоном 0,003 в сторону одной из набережных, в одной траншее, с расстоянием между осями 1,85 м. Каждая нитка перехода состоит из наружной трубы (футляра) диаметром 1020 мм и внутренней (теплопровода) диаметром 630 мм.

Для предохранения от всплытия футляры пригружены железобетонными грузами.

Для равномерного распределения перемещений футляра от температурных удлинений в середине перехода установлена неподвижная бетонная опора.

На набережных по концам футляров установлены две береговые железобетонные камеры.

Монтаж трубопроводов производился на стапеле и состоял из сварки теплопроводов и футляров, а также накладки тепловой изоляции на теплопроводы и антикоррозийной изоляции на футляры. Тепловая изоляция состояла из минеральной ваты с асбестоцементной коркой по металлической сетке. Антикоррозийное покрытие футляров выполнялось из одного слоя праймера, двух слоев битумной мастики, одного слоя гидроизола, двух слоев битумной мастики, одного слоя гидроизола и двух слоев битумной эмали. Смонтированные на стапеле футляры с заглушенными концами спускались на воду и буксировались к месту укладки.

Укладка футляров производилась поочередно на отсыпанные на дне траншеи гравийные призмы.

После укладки обоих трубопроводов (футляров) под них производилась подбивка песчаного грунта и пригрузка футляров железобетонными грузами. Величина дополнительной при-

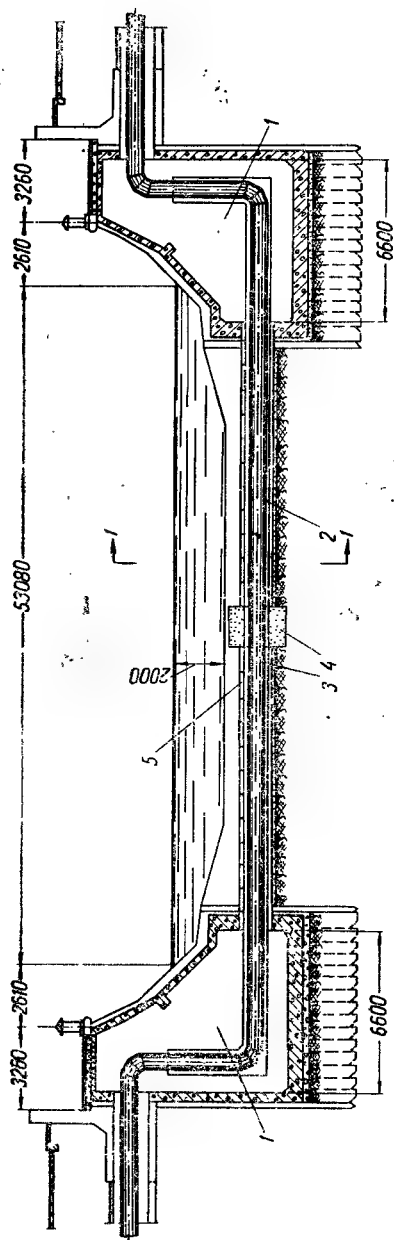


Рис. IX.6. Подводный переход теплопроводов в дюкерах

1 — береговая камера; 2 — стальные трубы $d_y = 1000$ мм; 3 — теплопроводы $d_y = 600$ мм; 4 — бетонная — неполовинная опора; 5 — железобетонные грузы

грузки определялась исходя из плавучести футляров при вынутых теплопроводах (в случае необходимости замены их при эксплуатации). Следует указать, что при проектировании перехода была предусмотрена возможность замены проложенных в футлярах теплопроводов.

К недостаткам этого типа переходов следует отнести меньшую надежность работы теплопроводов по сравнению с проложенным в проходном туннеле.

Для обеспечения гарантии бесперебойного теплоснабжения потребителей можно рекомендовать укладку третьей, резервной нитки дюкера, что приведет, однако, к удорожанию перехода на 20—30%.

3. МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Необходимость в сооружении специальных мостовых переходов для прокладки теплопроводов возникает при пересечении трассой тепловых сетей железных дорог и рек.

Прибегать к строительству мостового перехода при пересечении железной дороги приходится в случае неблагоприятных гидрогеологических условий или значительной длины перехода, при большом количестве путей.

В качестве примера мостового перехода через водное препятствие приведен железобетонный мост пролетом 32 м через водоотводный канал р. Москвы, предназначенный для прокладки двух теплопроводов диаметром 500 мм и использованный для пешеходного движения (рис. IX.7).

Железобетонный мост имеет арочное очертание и рассчитан как трехшарнирная арка.

Арка моста коробчатого сечения размером 3300×1250 мм состоит из двух корытообразных сборных железобетонных элементов (стенок), объединенных плитами верхнего и нижнего поясов. Нижние плиты устанавливаются по кривой арки и замоноличиваются со стенками. Верхние плиты также замоноличиваются со стенками, за исключением плит средней части пролета, которые снимаются во время ремонта теплопроводов.

Высота сечения арки принята по конструктивным соображениям из условия размещения труб теплосети внутри пролетного строения.

Устои выполнены из монолитного железобетона с применением гидротехнического бетона М-300 в верхней части и М-200 в нижней части. Верхняя часть устоя — пустотелая, соединяющаяся с полупроходным каналом теплосети. Трубы теплосети из устоя переходят в пролетное строение, располагаясь в нем по кривой хордами длиной по 5 м. Помещение в устое дает возможность обслуживать теплопроводы при эксплуатации. Сверху ключа арки имеется люк для обслуживания воздушных кра-

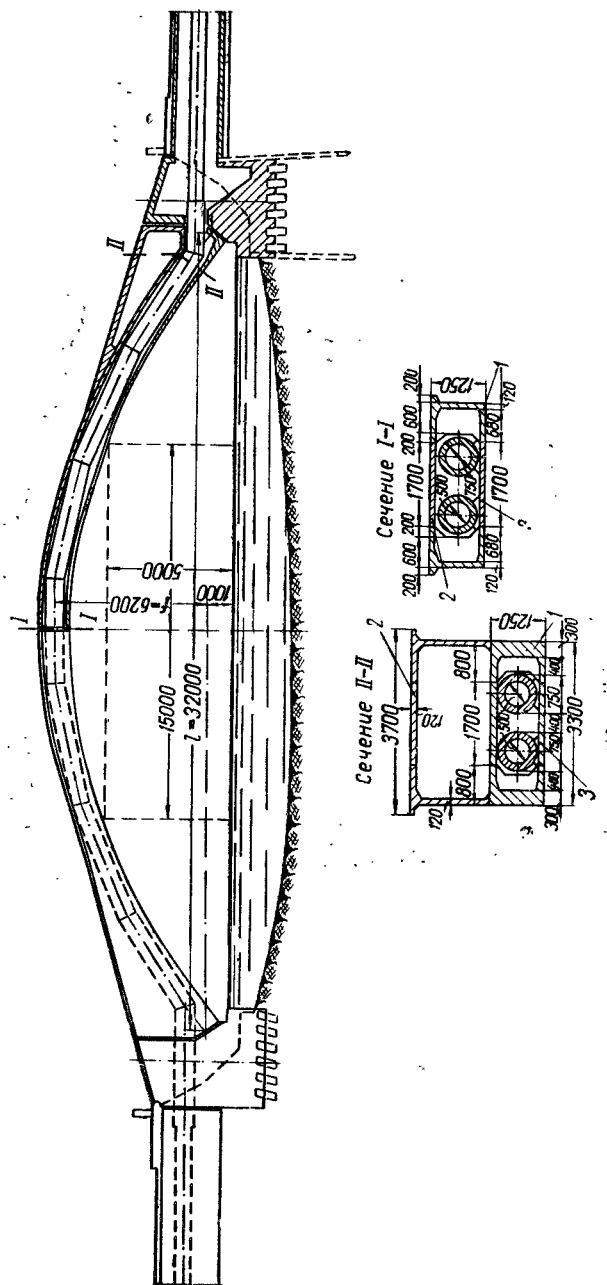


Рис. IX.7. Арочный мост через водоотводный канал для прокладки теплопроводов
1 — сборные железобетонные элементы арок; 2 — верхние сборные плиты; 3 — нижние сборные плиты

нов теплопроводов. По пролетному строению уложены ступени лестницы, бордюрные камни и асфальтовое покрытие. Общий вид арочного моста приведен на рис. IX.8.



Рис. IX.8. Общий вид арочного моста

На рис. IX.9 и IX.10 приведен проект мостового перехода через железнодорожные пути.

Через четыре пути магистральной железной дороги запроектирован мост с двумя пролетами 17 и 15,5 м. Пролетное строение — металлические фермы, которые опираются на две крайние металлические опоры (колонны) и одну среднюю, установленную в междупутье. Крайние колонны опираются на бетонные фундаменты, объединенные с шахтами для стояков теплопроводов диаметром 700 мм. Средняя колонна установлена на железобетонном ростверке, опирающемся на железобетонные сваи. Теплопроводы опираются на среднюю и крайние опоры моста и четыре опоры, установленные в пролете ферм. Средняя мостовая опора служит неподвижной опорой теплопроводов.

Для компенсации температурных удлинений теплопроводов используются примыкающие участки и вертикальные плечи в местах подъема труб на мост. Вертикальные плечи теплопроводов заключаются в металлический короб из кровельной стали.

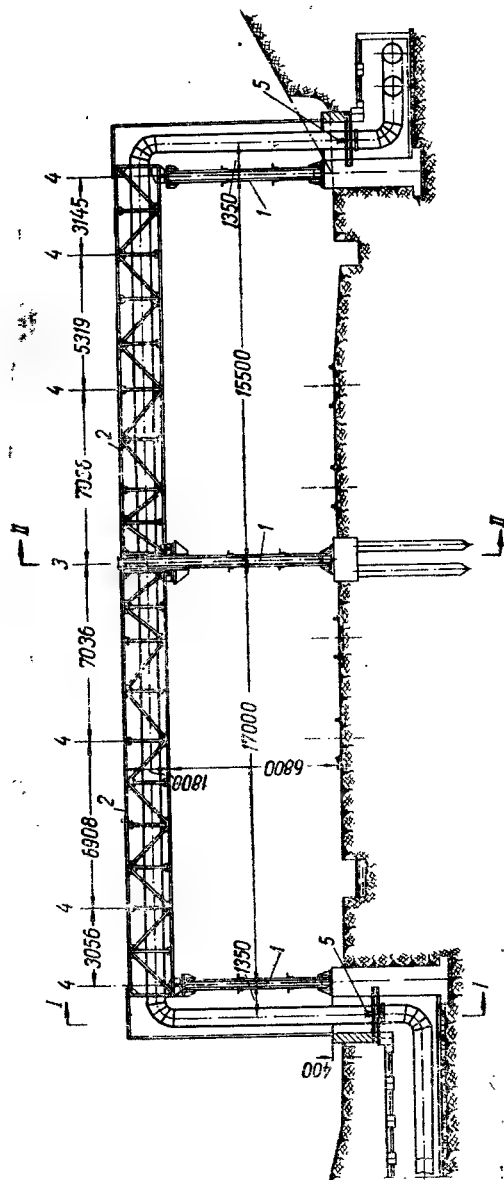


Рис. IX.9. Мостовой переход через железнодорожные пути (продольный разрез)
1 — опоры моста; 2 — пролетное строение; 3 — неподвижная опора; 4 — скользящие опоры; 5 — пружинные опоры

Тепловая изоляция теплопроводов выполняется из минеральной ваты с устройством покровного слоя из асбестоцементной штукатурки по металлической сетке.

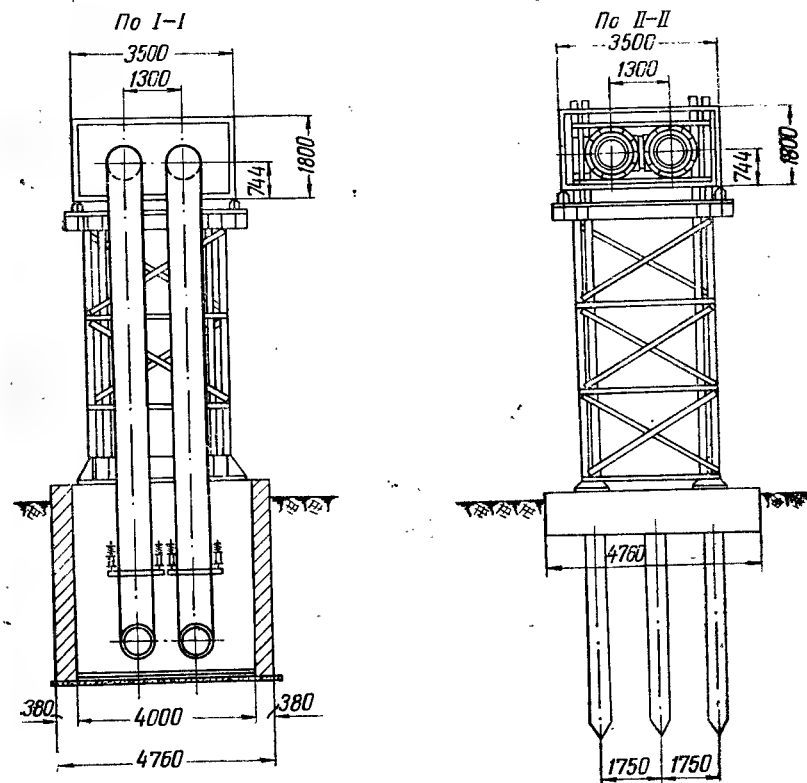


Рис. IX.10. Мостовой переход через железнодорожные пути (разрезы)

Крайние опоры моста рассчитываются на собственный вес конструкции пролетного строения, вес теплопроводов (с водой и изоляцией) и горизонтальные усилия трения теплопроводов в скользящих опорах.

4. ЭСТАКАДЫ

При проектировании городских тепловых сетей в районах нового строительства часто приходится прокладывать теплопроводы по пересеченному рельефу местности еще не спланированной территории. Переходы через овраги и небольшие реки обычно осуществляются путем прокладки теплопроводов по железобетонным эстакадам, которые впоследствии, при планировке территории, засыпаются грунтом.

Примером может служить монолитная железобетонная эстакада (рис. IX.11), построенная для прокладки теплопроводов диаметром 700 мм.

Эстакада состоит из опор и пролетного строения, представляющего собой канал, стенки которого служат несущей конструкцией.

Расчет эстакады ведется на собственный вес, вес грунта и временную нагрузку. Временная подвижная нагрузка принимается в виде колесной нагрузки НК-80. Расчет выполняется в соответствии с техническими условиями проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб.

Эстакада имеет шесть пролетов и общая ее длина составляет 48 м. Каждое пролетное строение состоит из двух железобетонных монолитных балок, связанных внизу плитой. Поверху балок уложены сборные железобетонные плиты, являющиеся перекрытием канала. По концам балки связаны монолитной прямоугольной рамой, обеспечивающей жесткость пролетного строения в поперечном направлении. Высота балок (130 см) принята по условию размещения теплопроводов внутри конструкции пролетного строения. Пролетное строение свободно опирается на верхние ригели опор.

Все железобетонные конструкции выполнены из бетона М-150. Сборные железобетонные плиты перекрытия укладываются на балки пролетного строения по слою цементного раствора. Швы между плитами заделываются цементным раствором. Поверхность плит покрывается цементной стяжкой и слоем гидроизола на битуме, который защищается бетоном толщиной 5 см.

Сооружение монолитных железобетонных эстакад требует значительных сроков, что, как правило, приводит к задержке строительства тепловых сетей. Более приемлемы сборные железобетонные эстакады. Однако выполнение сборных эстакад затрудняется из-за отсутствия типовых сборных деталей, пригодных для применения в этих сооружениях.

В качестве примера на рис. IX.12 приведена сборная эстакада для теплопроводов, запроектированная для пересечения долины реки.

Эта эстакада, имеющая значительную протяженность, только в первые годы эксплуатации будет открытой. В дальнейшем она должна быть засыпана до отметки планировки местности. Высота засыпки, считая от днестной поверхности земли, составит около 6—7 м.

Эстакада состоит из свайных опор с пролетом между ними 6 м, поперечных балок, служащих опорами для теплопроводов, и пролетного строения из железобетонных двутавровых прогонов, поверх которых уложены плиты перекрытия канала. Опора состоит из двух групп железобетонных свай (по 6 шт.), каждая из которых поверху объединена железобетонным монолит-

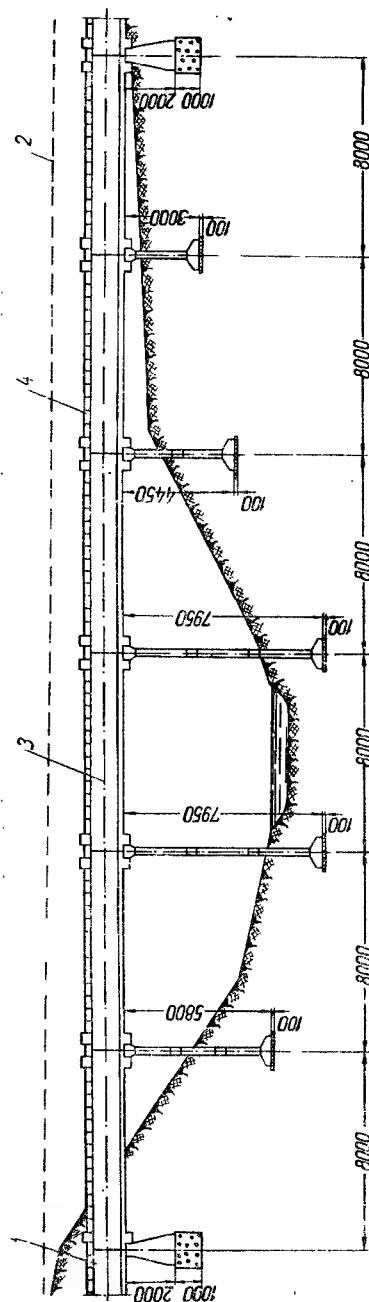


Рис. IX.11. Железобетонная эстакада (продольный разрез по II—II)

1 — непроходной канал; 2 — линия планировки; 3 — железобетонный канал для труб; 4 — железобетонные балки перекрытия

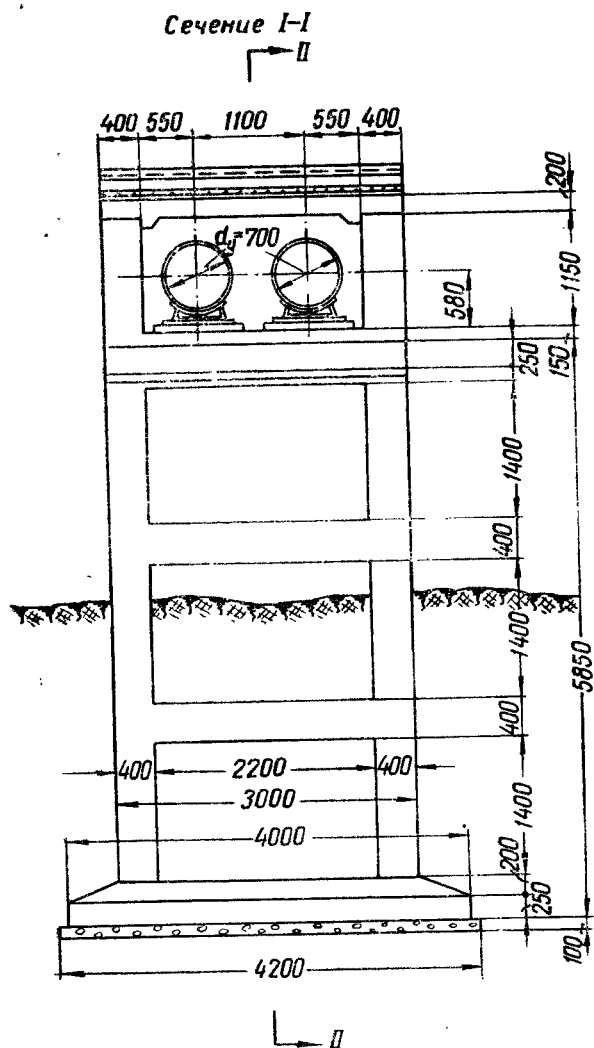


Рис. IX.11а. Железобетонная эстакада

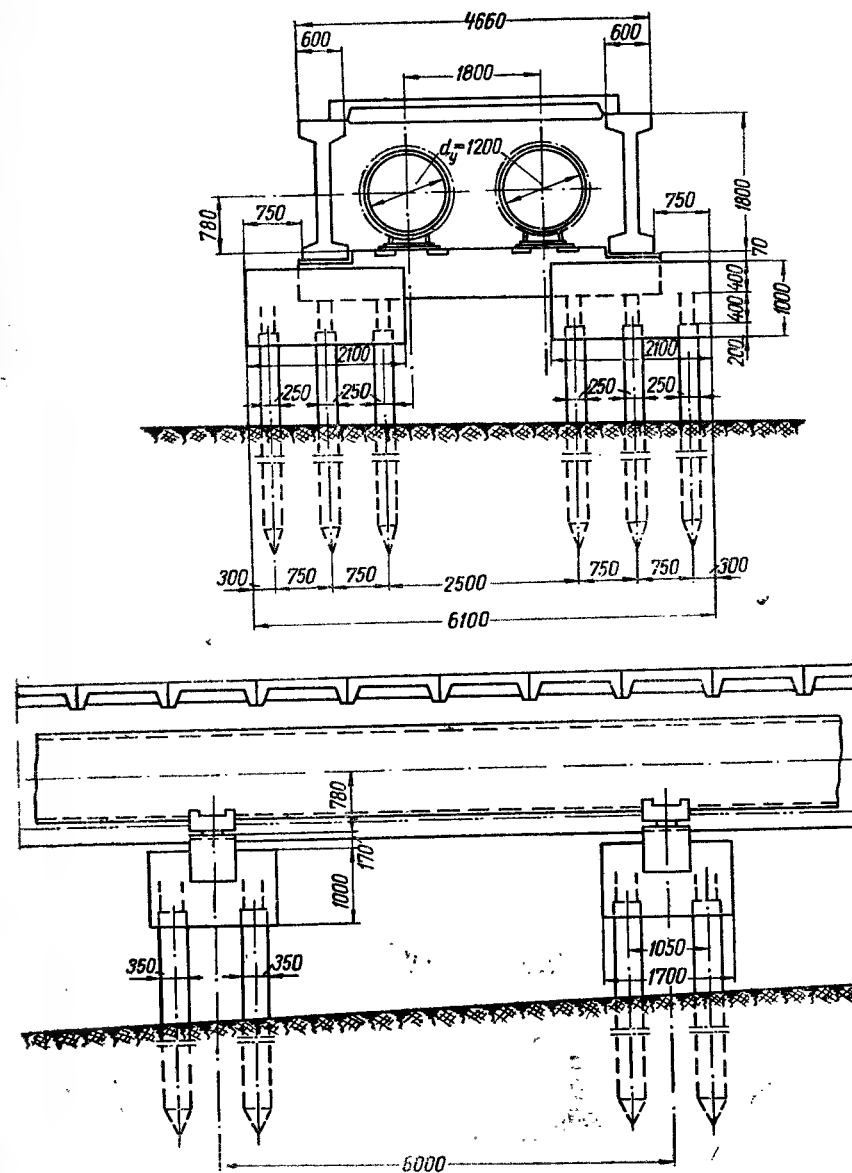


Рис. IX.12. Сборная железобетонная эстакада

ным ростверком, и поперечных балок. На опоры уложены продольные двутавровые железобетонные балки типовой конструкции, имеющие высоту 1,8 м и длину 6 м. Эти балки перекрыты железобетонными ребристыми плитами канала.

Скользящие опоры теплопроводов установлены на поперечные балки в местах расположения свайных опор.

5. ПРОКЛАДКА ТЕПЛОПРОВОДОВ ПО СУЩЕСТВУЮЩИМ МОСТАМ

Наиболее простым и экономичным способом прокладки теплопроводов через реки, железные и автомобильные дороги является использование существующих мостов и путепроводов.

Возможность использования моста для прокладки теплопроводов иногда встречает трудности из-за отсутствия соответствующих технических условий, а также опыта строительства и эксплуатации, что приводит зачастую к отказу от использования существующих мостов. Часто по этим же причинам принимается решение о прокладке теплопроводов по мосту в ущерб требованиям нормальной эксплуатации моста и теплопроводов.

Исходными данными для проектирования являются исполнительные чертежи моста, а также расчеты конструкции пролетного строения.

Основными вопросами проектирования теплопроводов являются:

а) проверка прочности конструкций моста на нагрузки, передаваемые теплопроводами;

б) решение способа компенсации температурных удлинений теплопроводов;

в) выбор способа крепления теплопроводов к мосту и разработка опорных конструкций.

В редких случаях при проектировании прокладки теплопроводов расчеты прочности моста выполняются заново.

Расчетами проверяется прочность пролетного строения в целом и элементов конструкции, на которые передаются вертикальные и горизонтальные нагрузки от теплопроводов.

При расчете арок или главных балок пролетного строения старых мостов обычно вычисляются дополнительные напряжения, возникающие от веса теплопроводов; при этом расчетные напряжения от собственного веса моста и временных нагрузок суммируются с дополнительными напряжениями от теплопроводов. Суммарные напряжения в материале конструкции моста не должны превосходить установленных действующими нормами.

При установлении допускаемых напряжений на материал конструкции старых мостов должно учитываться состояние последних, которое определяется осмотром в натуре и фиксируется актом комиссии. Как показали выполненные расчеты мостов, в

зависимости от диаметров прокладываемых труб дополнительные напряжения могут составлять 10% и более от основных расчетных. В наиболее тяжелых условиях работы обычно оказываются элементы конструкций (диафрагмы, второстепенные балки), непосредственно воспринимающие нагрузку от теплопроводов. Поэтому эти элементы иногда приходится усиливать. Так, на одном из существующих мостов пришлось произвести полную замену металлических консолей тротуарной части моста ввиду недостаточности их сечения.

Компенсация температурных перемещений теплопроводов, прокладываемых по мосту, осуществляется главным образом путем использования самокомпенсирующей способности труб при соответствующей форме трассы и лишь в редких случаях удается осуществить компенсацию гибкими П-образными компенсаторами. При естественной компенсации обычно используются горизонтальные плечи теплопроводов на входе и выходе с моста. Эти горизонтальные участки теплопроводов размещаются в устоях моста или в каналах. Одновременно с горизонтальными участками теплопроводов в систему компенсации могут быть включены и вертикальные участки, располагаемые в шахтах устоев или специальных камерах, сооружаемых на подходах к мосту. Компенсация при помощи горизонтальных и вертикальных плеч теплопровода дает хорошую пространственную схему, однако при этом трудно учесть величины и направления смещений труб. В середине пролета моста устанавливаются неподвижные опоры, закрепляемые в конструкции пролетного строения. При естественной компенсации усилия в неподвижных опорах не достигают больших величин, а поэтому обычно могут быть восприняты конструкцией моста. Сальниковые компенсаторы при прокладке теплопроводов по мостам не применяются из-за трудности обслуживания и ненадежности их конструкции в эксплуатации. Применение П-образных компенсаторов возможно лишь при решетчатой конструкции главных балок моста, допускающей укладку труб в поперечном к оси моста направлении.

Опорные конструкции теплопровода выбираются в зависимости от конструкции моста в целом и отдельных деталей его пролетного строения. Наиболее надежным способом является опирание скользящих кареток теплопроводов на специальную деталь, устанавливаемую непосредственно на конструкцию моста. При прокладке в пролетном строении железобетонного моста опоры теплопровода могут быть выполнены в местах прохода труб через отверстия в поперечных диафрагмах. К диафрагме крепятся двойные роликовые опоры, на которые опираются каретки теплопроводов. Аналогичная конструкция применяется и при прокладке теплопроводов в пролетном строении металлического моста. В поперечных диафрагмах в местах отверстий для пропуска труб устанавливаются роликовые опоры

(рис. IX.13), что позволяет значительно снизить горизонтальные усилия, передаваемые на диафрагмы моста.

В металлических мостах применяется способ подвешивания теплопроводов на стальных тросах. В этом случае верхние концы тросов прикрепляются через сержки к балкам проезжей части

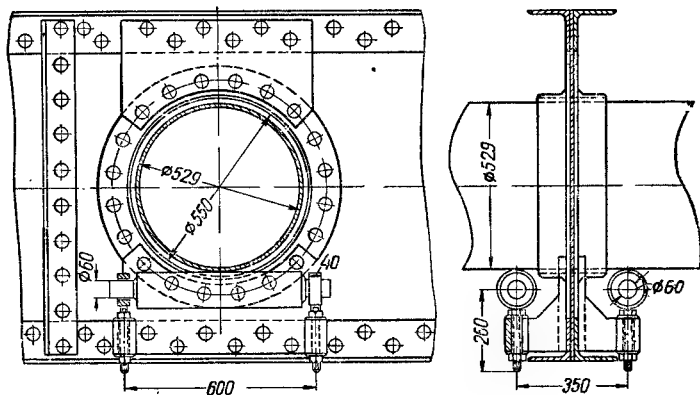


Рис. IX.13. Установка теплопровода в поперечной диафрагме моста

моста. При проезжей части моста из железобетонной плиты тросы могут быть закреплены путем заделки анкерных болтов в бетоне плиты.

При прокладке теплопроводов под тротуарной частью моста трубы опираются на роликовые опоры, установленные по консолям.

До последнего времени при разработке конструкции опор под теплопроводы большому сомнению подвергались опоры, жестко связанные с конструкциями моста. При этом высказывались опасения о передаче вибрации моста теплопроводам и возможности разрушения стыков. Однако, как показал опыт эксплуатации, эти опасения необоснованы. В течение десяти лет находятся в эксплуатации теплопроводы, проложенные впервые по железнодорожному мосту, в котором вибрация имеет значительно большие размеры, чем в мостах для городского транспорта.

Тепловая изоляция теплопроводов, прокладываемых по мосту, должна иметь надежную конструкцию, гарантирующую длительный срок ее службы при сохранении теплоизоляционных качеств.

Наилучшим материалом в настоящее время является минеральная вата или изделие из нее. Конструкция тепловой изоляции состоит из минераловатных матов или войлока, которыми

обертывается теплопровод, и асбестоцементной штукатурки, наносимой по металлической сетке.

При размещении теплопроводов в металлическом пролетном строении необходимо обеспечить доступ к конструкции для покраски через зазоры между теплопроводами и балками, арками и диафрагмами.

Обслуживание теплопроводов в период эксплуатации — весьма существенный вопрос. Между тем при прокладке теплопроводов по существующим мостам далеко не всегда удастся обеспечить доступ для осмотра и ремонта. В этом случае должен быть рассмотрен вопрос о прокладке резервной трубы, которая может заменить поврежденный теплопровод на время ремонта.

Для обслуживания теплопроводов требуется сооружение постоянных площадок и лестниц, а если позволяет конструкция моста, то и сквозных проходов по балкам или аркам пролетного строения.

Обслуживание воздушных кранов на теплопроводах, устанавливаемых, как правило, в середине моста в наиболее высоких точках, производится через люки, устраиваемые обычно в проезжей части. Для спуска в люк устанавливаются постоянные лестницы, а для обслуживания воздушных кранов — металлические площадки с ограждениями.

Основные работы по прокладке теплопроводов в пролетном строении моста складываются из монтажа труб и нанесения на них теплоизоляции. Эти два вида работ выполняются в большинстве случаев отдельно, так как редко удастся вести монтаж труб с нанесенной на них тепловой изоляцией.

В Москве проложены теплопроводы по ряду мостов больших пролетов через р. Москву металлической и железобетонной конструкций. В большинстве случаев прокладка теплопроводов была предусмотрена в проекте моста. Поэтому в задачу проектирования прокладки теплопроводов входили только проектирование опорных конструкций, расчет компенсации температурных удлинений и составление проекта производства работ по монтажу труб в пролетном строении и в опорах.

На рис. IX.14 показана прокладка теплопроводов диаметром 250 мм по мосту железобетонной арочной конструкции. Теплопроводы размещены между двумя арками моста; подвеска их выполнена на качающихся подвесных опорах, закрепленных в железобетонном перекрытии. Поверху железобетонных плит, в местах установки опор, уложены сваренные между собой швеллеры, к которым закреплены анкерные подвески. К последним шарнирно прикреплены тяги из круглой стали. Тяги удерживают опорную балку из швеллеров, на которую уложены каретки скользящих опор теплопроводов (рис. IX.15). Работы по монтажу теплопроводов производились с барж, на которых были установлены подмости.

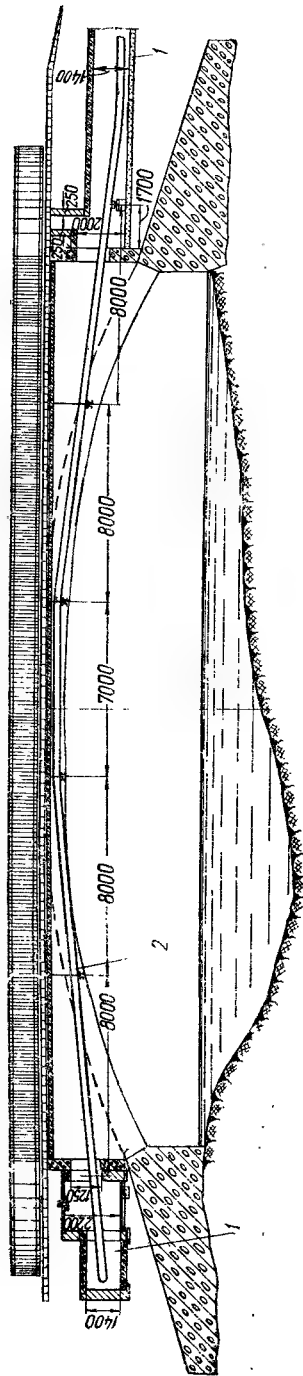


Рис. IX.14. Прокладка теплопроводов по арочному мосту
1 — полупроходной канал; 2 — подвесная опора

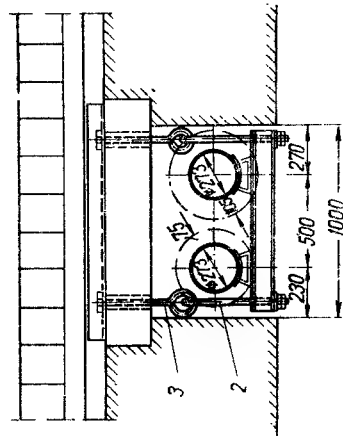
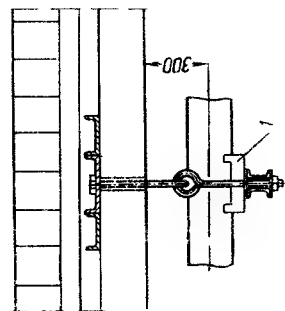


Рис. IX.15. Детали подвески труб
1 — скользящая опора; 2 — тяга; 3 — серьга



6. ПОДЗЕМНЫЕ ПЕРЕХОДЫ ТЕПЛОПРОВОДОВ В ФУТЛЯРАХ

Переход теплопроводами железных и автомобильных дорог, уличных проездов и трамвайных путей осуществляется главным образом прокладкой теплопроводов в стальных футлярах.

Закладка стальных футляров в тело земляного полотна производится закрытым (бестраншейным) способом, что позволяет осуществить строительство перехода без нарушения движения транспорта.

Наибольшее распространение получили в строительстве тепловых сетей способы продавливания и прокола стальных труб (футляров) при помощи домкратов.

Подземный переход представляет собой два футляра (при двухтрубных тепловых сетях), проложенных закрытым способом, в которых размещены подающий и обратный теплопроводы, покрытые тепловой изоляцией. По обоим концам футляров располагаются смотровые камеры, сооружаемые обычно в котлованах, которые служат для производства работ по продавливанию или проколу стальных труб.

Диаметр футляров принимается исходя из диаметра прокладываемых в них теплопроводов с учетом толщины тепловой изоляции и необходимого воздушного кольцевого зазора между поверхностью тепловой изоляции и внутренней поверхностью стенки футляра. Минимальные диаметры футляров, рекомендуемый сортмент труб и другие показатели приведены в табл. IX.1.

Способ прокола применяется при прокладке футляров диаметром до 400—500 мм, в глинистых и суглинистых грунтах при длине перехода порядка 20—30 м. При проколе футляров в песчаных грунтах потребная мощность домкратов сильно возрастает, а в гравелистых грунтах применение этого способа вообще оказывается затруднительным. Поэтому способ прокола рекомендуется при устройстве коротких переходов теплопроводов диаметром до 200—250 мм.

Прокол может производиться с установкой на конце футляра конического наконечника или без него. В первом случае на трубу прилагаются меньшие усилия, однако прокладываемая труба в значительной степени может отклоняться от заданного направления проходки. Во втором случае на конце продавливаемой трубы образуется земляная пробка, и грунт, вошедший в трубу, не удаляется до окончания прокола.

При применении способа продавливания могут быть проложены футляры диаметром от 800 до 1400 мм при длине переходов до 40—60 м в любых мягких грунтах.

Наименьший диаметр продавливаемых труб (800 мм) устанавливается из условий возможности разработки грунта вручную рабочим, находящимся в трубе. При продавливании футляра грунт, поступающий в его передний открытый конец,

Основные показатели футляров для подземных переходов

Диаметр в мм	Трубы для футляров					Рекомендуемый способ прохода			
	изоляция	футляров	наружный диаметр в мм	ГОСТ	толщина стенки в мм				
						вес 1 пог. м в кг	поперечное сечение кольца трубы в см²		
100	188	300	325	8732—58	{	9	89,3	Прокол	
150	259	350	377			10	70,14	115,3	"
200	319	400	426			11	90,51	143,4	"
250	373	500	529			12	112,58	194,8	"
300	450	800	820	4015—58	{	12	304,5	Продавливание	
350	507	800	820			12	239,1	304,5	"
400	576	800	820			12	239,1	304,5	"
500	679	800	820			12	239,1	304,5	"
600	780	900	920			12	268,7	342,1	"
700	920	1000	1020			14	347,3	442,2	"
800	1020	1200	1220			14	416,3	530,2	"
900	1120	1400	1420			14	485,4	618,1	"
1000	1220	1400	1420		14	485,4	618,1	"	

периодически удаляется. Для уменьшения усилий, требуемых для продавливания, на конце футляра устанавливается нож.

На рис. IX.16 представлена схема закрытой проходки футляров, на которой показаны основное оборудование и другие устройства для продавливания.

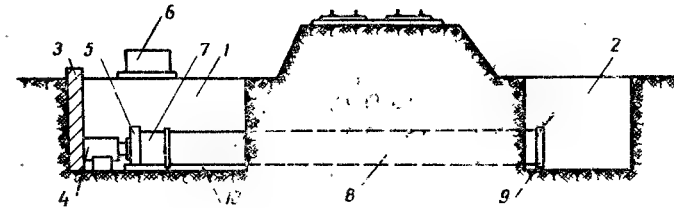


Рис. IX.16. Схема бестраншейной прокладки футляров

1 — рабочий котлован; 2 — приемный котлован; 3 — упорная стенка; 4 — домкратная установка; 5 — торцовая нажимная заглушка; 6 — насос высокого давления; 7 — нажимной патрубок; 8 — футляр; 9 — нож; 10 — направляющие

В сухих грунтах рабочий котлован, из которого ведется продавливание, крепится досками с установкой бревенчатых стоек и распорок; в мокрых грунтах крепление стенок котлована выполняется в виде деревянного шпунтового ограждения.

В торце рабочего котлована устраивается упорная стенка, воспринимающая усилия от домкратов. Конструкция упорной стенки принимается в зависимости от характера грунта и подлежит расчету на усилия, передаваемые от домкратов. Расчетные усилия на торцовую стенку от домкратов предварительно могут быть выбраны по табл. IX.2.

Таблица IX.2

Расчетные суммарные усилия P и T при продавливании труб-футляров (с периодическим удалением грунта через каждые 2 м)

Условный диаметр труб в мм	Глинистые грунты при длине проходки в м				Песчаные грунты при длине проходки в м			
	20	30	40	50	20	30	40	50
1400	275	325	360	405	370	400	460	495
1200	225	265	300	320	275	325	375	410
1000	180	215	240	270	210	250	285	320
900	155	185	210	235	180	220	250	280
800	135	160	180	205	155	187	225	250

В слабых грунтах упорная стенка выполняется из двух рядов свай, пространство между которыми заполняется утрамбованным песком, щебнем или камнем. В глинистых и песчаных грунтах с хорошей несущей способностью упорная стенка сооружается из ряда свай и брусчатых пакетов. Довольно часто для усиления бревенчатой или брусчатой упорной стенки используются железобетонные плиты перекрытия каналов, которые закладываются между стенкой и грунтом.

Приемный котлован, разрабатываемый в месте выхода продавливаемых труб перехода, крепится обычным способом или бревнами.

При продавливании футляра по заданному направлению в плане и профиле в рабочем котловане устанавливаются направляющие устройства. Горизонтальное направляющее устройство состоит из рельсов или швеллеров, уложенных по брускам на дно котлована. Для направления футляра в вертикальной плоскости устраивается направляющая рама у передней стенки котлована.

Для продавливания и прокола труб применяются гидравлические домкраты и насосы высокого давления.

Наибольшее распространение получили гидравлические домкраты типа ГД-170/1150 (усилие 170 Т, ход штока 1150 мм и давление до 300 атм) и масляные насосы высокого давления, выпускаемые механическим заводом треста Строймеханизация-2 в г. Таллине, а также гидродомкраты и комплекс оборудования системы инж. Романовича и др.

Для равномерной передачи давления на футляры больших диаметров рекомендуется независимо от потребных усилий применение двух и четырех домкратов, работающих параллельно. Передача усилий от домкратов на прокладываемый футляр производится через торцовую нажимную заглушку, состоящую из двух стальных листов. После продвижения футляра на длину одного хода штока домкрата вставляются нажимные патрубки, состоящие из отрезков труб (равных диаметру прокладываемого футляра) с приваренными по торцам заглушками из стальных листов толщиной 20—30 мм. Размер нажимных патрубков принимается кратным длине хода штока домкратов.

Применяемый при продавливании нож выполняется из двух колец, наваренных на передний конец футляра. Толщина ножа принимается равной 20—30 мм, в зависимости от диаметра продавливаемого футляра. Переднему краю ножа придается скос в 20° путем наварки металла между составляющими нож кольцами. Нож выполняется с наружным скосом при продавливании в грунтах с естественной влажностью и со скосом внутрь трубы при проходке в водонасыщенных грунтах. Внутренний скос в этом случае служит для создания грунтовой пробки, препятствующей заплыванию грунта в футляр.

Проектирование перехода должно производиться на основании данных гидрогеологических изысканий по трассе. Особенно тщательно необходимо изучить характер грунтов и состояние грунтовых вод при устройстве перехода под железными дорогами. Разведочные скважины выполняются строго по трассе перехода по обеим сторонам дорожного полотна и в междупутье.

Проект должен содержать: 1) план перехода с показанием пересекаемого сооружения (дороги, проезда и пр.); 2) профиль с указанием геологических условий, горизонта грунтовых вод и отметок всех частей перехода, а также подземных коммуникаций; 3) конструктивные чертежи котлованов и упорной стенки; 4) пояснительную записку, в которой обосновывается выбранный диаметр футляров, определяются расчетные усилия для продавливания, приводятся расчеты упорных конструкций, выбирается оборудование и пр.

При проектировании переходов теплопроводов в футлярах должны учитываться указания СНиП III-A.11-62 «Техника безопасности в строительстве».

При ручной разработке грунта в футляре допускаются следующие длины проходок:

при диаметре футляра	800 мм		до 18 м
»	»	» 900—1000 »	» 36 »
»	»	» 1200 »	» 60 »

Расстояние между двумя футлярами выбирается с учетом возможного отклонения их при продавливании от заданного направления. Минимальное горизонтальное расстояние между футлярами исходя из опыта строительства следует принимать при проходке до 20 м — 30 см, при проходке свыше 20 м — 50 см.

В проекте должна предусматриваться антикоррозийная защита стальных футляров и теплопроводов.

При низкой и нормальной коррозионности грунтов в качестве изоляции наружной поверхности футляров может быть рекомендовано битумное покрытие, разработанное ВНИИГ имени Введенеева.

Состав этого битумного мастичного покрытия следующий: битум марки V с температурой размягчения 92°C—25% (по весу); битум марки III с температурой размягчения 56°C—15%; асбест 7-го сорта, высушенный и просеянный через сито с отверстиями 2 мм, — 6%; гажевая пыль — 54%.

При прокладке футляров под электрифицированными дорогами в настоящее время устраивается футеровка из железобетонных колец внутри футляра. Кроме того, следует устраивать активную электрическую защиту, проект которой в каждом отдельном случае составляется особо. При проектировании переходов в футлярах в условиях высокого стояния уровня грун-

товых вод должны предусматриваться мероприятия, исключающие попадание воды в футляр и подмачивание тепловой изоляции. В этом случае в камерах, устраиваемых по концам перехода, устанавливают насосы для водоотлива с автоматическим включением.

При длине перехода, превышающей максимальный допускаемый пролет теплопроводов между скользящими опорами, необходимо предусматривать установку опор в футляре.

Конструкция скользящей опоры теплопроводов обычно состоит из двух скоб из круглой арматурной стали, привариваемых к телу теплопровода.

Важное значение имеет выбор положения перехода по высоте по отношению к остальной трассе теплопровода. Желательно ось футляров размещать на одинаковой высоте с осями теплопроводов, так как в противном случае необходимо в камерах гнуть трубы и устраивать вертикальные или наклонные участки теплопроводов для компенсации температурных перемещений, а также устанавливать спускные и воздушные краны.

Кроме того, необходимо считаться с положением подземных коммуникаций, находящихся в теле насыпи, с сохранением минимального расстояния от них.

Следует также учитывать, что при продавливании или прокале происходит выпучивание грунта, которое может вызвать нарушение существующих трубопроводов или кабелей. В зависимости от характера этих коммуникаций приближение футляра к ним должно быть не менее 1—1,5 м. Если возникает сомнение о сохранности этих прокладок, нужно предусматривать их вскрытие путем устройства шурфов на период производства работ, что обеспечит наблюдение за ними и предохранит их от давления грунта.

Высоту земляной насыпи от верха футляра до железно-дорожных путей или дорожных покрытий следует принимать не менее 2 м.

7. ТУННЕЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

При строительстве подземных переходов под путями железных и автомобильных дорог весьма часто прибегают к сооружению туннелей закрытым способом. Присущество туннельного перехода состоит в том, что теплопроводы, проложенные в нем, доступны для осмотра и ремонта. При этом в туннеле могут быть проложены совместно с теплопроводами и другие коммуникации. Наиболее освоенным в строительстве туннелей является способ щитовой проходки. При этом способе грунт разрабатывается под прикрытием круглой металлической оболочки щита, верхняя часть которого несколько выступает вперед для предотвращения попадания грунта внутрь щитового пространства (рис. IX.17).

Щит продвигается группой гидравлических домкратов, расположенных внутри щита по его периметру. Домкраты упираются в ранее выполненную обделку туннеля, которая состоит из отдельных блоков трапецевидной формы, изготовляемых из бетона или железобетона. Количество домкратов соответствует числу блоков в кольце обделки туннеля. Домкраты приводятся в действие насосом высокого давления.

Строительство туннельных переходов осуществляется в настоящее время щитами круглого сечения, основные показатели которых приведены в табл. IX.3.

Разработка грунта в забое производится главным образом вручную. Грунт погружается в специальные вагонетки и отвозится в рабочую шахту вручную или электрокарами. После укладки блоков обделки производится нагнетание цементного раствора за обделку туннеля.

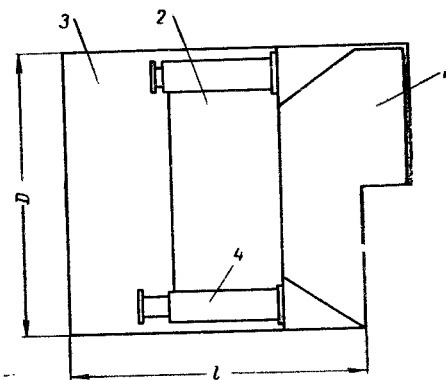


Рис. IX.17. Схема щита
1 — режущая часть; 2 — опорная часть;
3 — хвостовая часть; 4 — домкрат; D — диаметр щита; l — длина щита

Таблица IX.3
Основные показатели щитов круглого сечения

Наименование	Диаметр щита в м			
	1,5	2	2,56	3,6
Длина щита в мм:				
поверху	2225	2600	3850	3218
понизу	1730	1900	3350	2718
Длина хвостовой части (полная) в мм	640	715	1425	1262
Полезная длина хвостовой части домкрата щита (считая от башмака, убранный до отказа) в мм	405	555	1125	810
Длина аванбека в мм	460	400	1125	500
Число щитовых домкратов в шт.	18	16	17	20
Ход щитового домкрата в мм	320	320	890	609
Расчетное давление жидкости щитовых домкратов в атм	250	250	140	250
Усилие одного домкрата (нетто) в Т	10	12,5	25	35
Суммарное усилие домкратов в Т	180	200	425	700
Вес корпуса щита в Т	2	3,7	5	11
Ширина блочной обделки в см	22	23	35	50

Раздел второй КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Глава X ТЕПЛОФИКАЦИОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

К теплофикационным относятся трубопроводы городских тепловых сетей и большинство трубопроводов тепловых сетей промышленных предприятий.

Особенности теплофикационных трубопроводов заключаются:

а) в большом разнообразии способов укладки труб (подземные — канальные и бесканальные, надземные);

б) в невысоком давлении теплоносителя в трубах (до 16 кг/см^2);

в) в относительно низкой температуре нагрева стенок труб ($150\text{--}250^\circ\text{C}$);

г) в большом диапазоне диаметров труб (от 50 до 600 мм в разводящих тепловых сетях, до 1200 мм на выходах от ТЭЦ).

По «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» теплофикационные трубопроводы с давлением до 16 кг/см^2 и температурой до 250°C относятся к 4-й категории, не подлежащей регистрации в органах Госгортехнадзора.

Условия работы теплофикационных трубопроводов определяются прежде всего способом их прокладки.

При подземной прокладке в непроходных каналах трубопроводы, как правило, укладываются на подвижных опорах скользящего типа и работают на изгиб от нагрузки собственным весом и весом тепловой изоляции. Для этой прокладки характерны: полная разгрузка трубопроводов от действия веса грунта и временной нагрузки от проезжающего транспорта, отсутствие ветровой нагрузки. Неблагоприятными факторами прокладки в

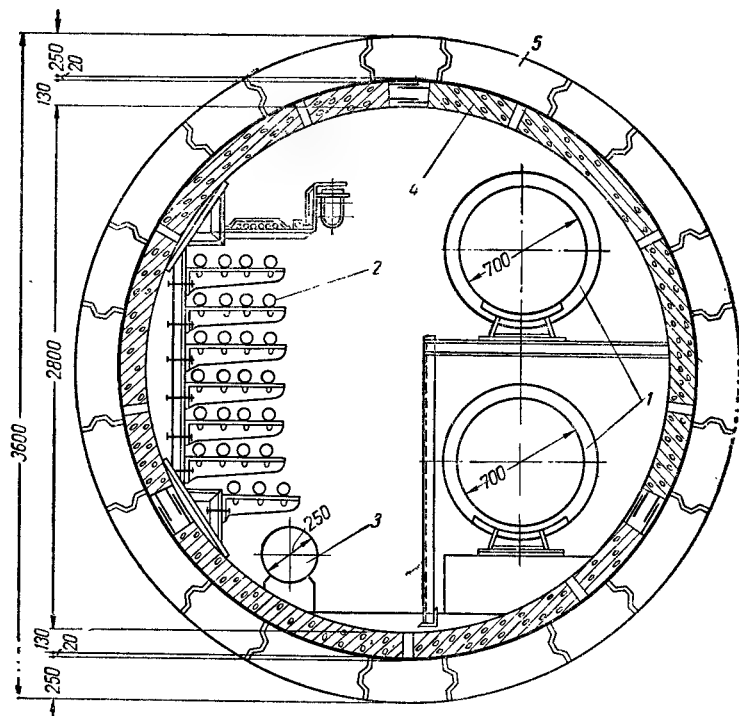


Рис. IX.18. Сечение туннеля с проложенными коммуникациями
1 — теплопроводы; 2 — кабели; 3 — водопровод; 4 — рубашка сборная;
5 — обделка

В туннельных переходах, как правило, предусматривается внутренняя монолитная или сборная железобетонная рубашка. Сечение туннеля, выполненного способом щитовой проходки с проложенными в нем теплопроводами, водопроводом и кабелями, приведено на рис. IX.18.

непроходных каналах являются наружная коррозия труб из-за периодического увлажнения тепловой изоляции на трубах («капель» с плит перекрытия каналов и капиллярное увлажнение) и отсутствие возможности регулярного осмотра с целью контроля за состоянием труб и теплоизоляционных конструкций.

При прокладке в проходных туннелях (и внутри зданий) трубопроводы часто укладываются на подвижных опорах каткового типа. Это создает более благоприятные условия работы трубопровода, чем в предыдущем случае. Возможность регулярного наблюдения и осмотров снижает опасность разрушений, вызванных, например, осадкой опор. Наилучшие условия при прокладке трубопроводов в вентилируемых проходных туннелях создаются и для теплоизоляционных конструкций, которые здесь не подвергаются увлажнению.

Однако вследствие больших капитальных затрат строительство проходных туннелей ограничивается головными участками магистральных тепловых сетей (на территории ТЭЦ) и совместной укладкой с другими коммуникациями под проездами больших городов с интенсивным уличным движением (например, в Москве, Киеве).

Бесканальные подземные прокладки теплопроводов в настоящее время применяются в значительно меньших масштабах, чем в непроходных каналах. Однако благодаря большим технико-экономическим преимуществам бесканальных теплопроводов следует ожидать их широкого внедрения в строительстве тепловых сетей в ближайшее время.

Особенности бесканальных прокладок:

а) полная или частичная (при разгруженных конструкциях изоляции) передача нагрузок на трубы от веса грунта и временных нагрузок от колес автомашин;

б) передача на трубы сил трения;

в) дополнительные напряжения, возникающие в трубах при неравномерной осадке грунта под трубами;

г) неблагоприятные условия работы тепловой изоляции, которая подвергается усиленному увлажнению из-за непосредственного контакта с окружающим грунтом.

Из-за отсутствия регулярного контроля за состоянием трубопроводов и теплоизоляционных конструкций делаются невозможными предупредительные ремонты и своевременное устранение повреждений труб, носящих, чаще всего, коррозионный характер.

Воздушная (надземная) прокладка теплопроводов распространена в тепловых сетях промышленных предприятий. Ее специфические особенности:

а) наличие изгибающих напряжений в стенках труб от весовых нагрузок;

б) дополнительные изгибающие напряжения в трубах от ветровой нагрузки и от неравномерного нагрева труб (паровых) в пусковом периоде;

в) преимущественное применение катковых опор, уменьшающих осевые усилия и напряжения в трубах от сил трения;

г) замена сальниковых компенсаторов на гибкие (П- и S-образные и др.), что позволяет во много раз снизить усилия, передаваемые на неподвижные опоры трубопроводов.

Условия работы теплоизоляционных конструкций надземных теплопроводов облегчены по сравнению с подземными прокладками в непроходных каналах, так как здесь трубы не имеют постоянного контакта с влажной средой (грунтом), а от увлажнения атмосферными осадками их достаточно надежно защищают внешние покрытия (из рулонных битумных материалов или асбестоцемента).

Условия работы изоляционных конструкций подземных теплофикационных трубопроводов существенно зависят от температурного режима при эксплуатации тепловых сетей. Увлажнение изоляции и наружная коррозия труб в теплопроводах с круглогодичной нагрузкой, а также в производственных паропроводах значительно меньше, чем в сетях, отключающихся на лето. В связи с этим для первых может быть допущено некоторое снижение требований в части ограничения влагопоглощения теплоизоляционных материалов и водонепроницаемости наружных покровных слоев. В тепловых сетях, выключаемых на лето, следует рекомендовать просушку изоляции прогревом трубопроводов не реже 1 раза в месяц в течение суток до температуры 70—80°C с одновременной вентиляцией каналов и камер через открытые люки.

Неблагоприятны и специфичны условия работы трубопроводов при сооружении тепловых сетей в просадочных грунтах (лёссовой и лёссовидной структуры), а также в сейсмических районах, районах вечной мерзлоты, горных выработок, болотистых грунтах.

Требования к проектированию и сооружению теплопроводов в особых условиях подробно рассмотрены во «Временных указаниях по прокладке тепловых сетей в особых условиях», разработанных Одесским филиалом института Оргэнергострой.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТРУБ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Выбор стальных труб для строительства тепловых сетей городов и поселков промышленных предприятий нормализован СНиП I-Г.7-62 «Тепловые сети. Материалы, оборудование, арматура, изделия и строительные конструкции», по которым предусмотрено использование в тепловых сетях труб из сталей трех марок: Ст.3, 10 и 20. В зависимости от величины и характера

нагрузок необходимо применять углеродистые стали с повышенными пределом текучести и временным сопротивлением разрыву (например, Ст.4, сталь 25).

Для воздушных (надземных) теплопроводов рационально применение труб из сталей с повышенными величинами $\sigma_{вр}$ и σ_t . Это позволит максимально увеличить расстояния (пролеты) между опорными конструкциями, что, в свою очередь, позволит уменьшить стоимость их сооружения.

Относительно низкое гидростатическое давление теплоносителя в теплопроводах позволяет употреблять в тепловых сетях наиболее тонкостенные трубы.

Согласно указаниям СНиП I-Г.7-62 для тепловых сетей применимы трубы стальные бесшовные (по ГОСТ 8731—58 и ГОСТ 8732—58) диаметром (по условному проходу) от 25 до 400 мм с толщиной стенки от 2,5 до 13 мм, пригодные для давления не более 36 кг/см². Для температуры не выше 100°C допускается применять стальные водогазопроводные трубы (по ГОСТ 3262—62).

Для теплопроводов канальной и надземной прокладки диаметром от 400 до 700 мм для давления не более 16 кг/см² и температуры не выше 150°C применимы электросварные трубы со спиральным швом (по ГОСТ 8696—62).

Следует отметить, что для наружных теплопроводов с давлением не более 16 кг/см² и температурой не выше 150°C минимально допускаемая толщина, равная 9 мм, является по условию прочности чрезмерно большой. Верхний предел толщин стенок бесшовных труб, допускаемых СНиП I-Г.7-62 (табл. 1), указан с большим запасом даже для максимальных параметров теплоносителя (пара): $p_{раб} = 36 \text{ кг/см}^2$ и $t = 425^\circ\text{C}$. Однако бесшовные трубы с толщиной стенки меньше принятых по СНиП I-Г.7-62 в настоящее время не изготавливаются.

Значительно экономичнее может быть использован металл при сооружении теплопроводов из электросварных труб (по ГОСТ 4015—58) и особенно из труб со спиральным швом (по ГОСТ 8696—62). Последние изготавливаются заводами с наиболее тонкими стенками, равными 5—6 мм при диаметре труб 500—700 мм.

Результаты испытаний, проведенных лабораторией теплофикации Всесоюзного теплотехнического института имени Ф. Э. Дзержинского (ВТИ) на опытном теплопроводе из труб диаметром 400 мм со спирально сварными швами, указывают, что всякие ограничения для их применения в тепловых сетях в настоящее время могут и должны быть сняты.

Испытания, проведенные во ВТИ, показали также, что трубы со спиральными швами пригодны и для изготовления П-образных компенсаторов со сварными отводами. Эти компенсаторы по прочности не уступают компенсаторам из бесшовных труб.

Целесообразно расширить область применения спирально сварных труб, допустив их и в бесканальных прокладках. Это позволит существенно уменьшить расход металла и снизить стоимость тепловых сетей.

3. ПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

Основное назначение подвижных опор состоит в уменьшении изгибающих напряжений, вызванных весовыми нагрузками, и напряжений от сил трения, действующих на трубы при их температурном удлинении. По принципу действия они разделяются на скользящие, роликовые, катковые, качающиеся и подвесные.

Опоры направляющего типа в наружных тепловых сетях используются редко, так как в большинстве случаев необходимо сохранять свободу поперечного перемещения труб. В настоящее время скользящие (рис. X.1) и катковые опоры нормализованы СНиП I-Г.7-62 в качестве типовых конструкций.

Наблюдения за работой таких опор показывают, что даже незначительные перекосы башмака или непараллельность поверхности башмака и опорной подушки неизбежно приводят к скольжению торца башмака по бетонной плите, а не по металлической подкладке. Для того чтобы исключить скольжение башмака по бетону, достаточно усовершенствовать способ закрепления подкладки (рис. X.2 и табл. X.1). Это изменение, кроме того, дает возможность более чем в 2 раза уменьшить длину башмаков, существенно облегчить конструкцию опоры и уменьшить расход металла.

Таблица X.1

Основные размеры (в мм) деталей улучшенных скользящих опор

Условный диаметр труб d_y в мм	A	l	a	b	e	g	d	h
50	200	50	60	40	50	4	170	90
76	200	50	60		50	4	170	
100	200	100	80		80	4	170	
125	300	100	100		2×50	5	270	
150	300	100	120	40; 60	2×60	5	270	90; 140
200	300	100	120		2×60	5	270	
250	400	100	160		2×60	5	350	
300	400	150	160		2×60	6	350	
350	500	150	220		2×80	6	400	
400	500	200	220		2×80	6	400	
450	500	200	260		2×80	8	400	
500	650	200	260		2×80	8	400	
600	650	200	320		2×80	8	400	

Примечание. Опоры с $h=140$ мм предусмотрены для теплопроводов с толщиной изоляции более 80 мм.

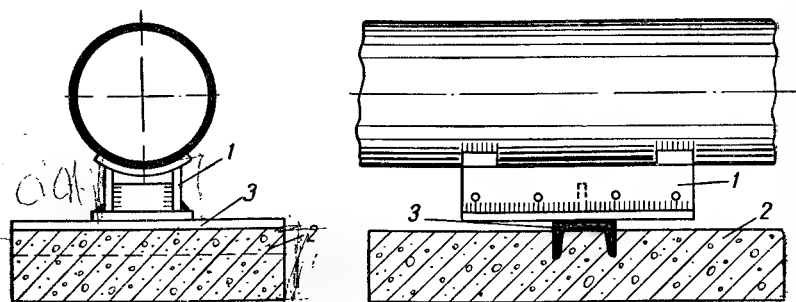


Рис. X.1. Типовая скользящая опора

1 — башмак (или корпус опоры); 2 — опорная подушка из неармированного бетона (для труб малого диаметра) или железобетона; 3 — металлическая подкладка

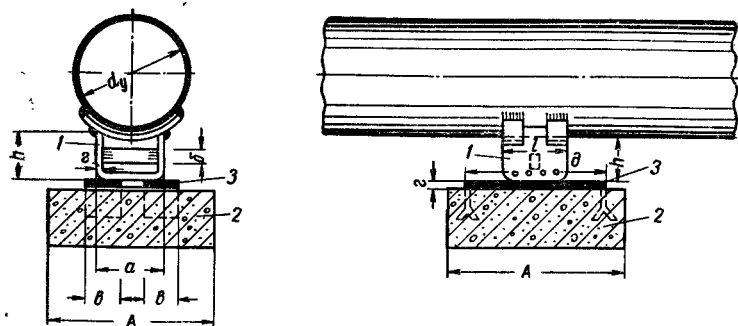


Рис. X.2. Улучшенная скользящая опора

1 — башмак; 2 — опорная подушка; 3 — металлическая подкладка (полосовая сталь)

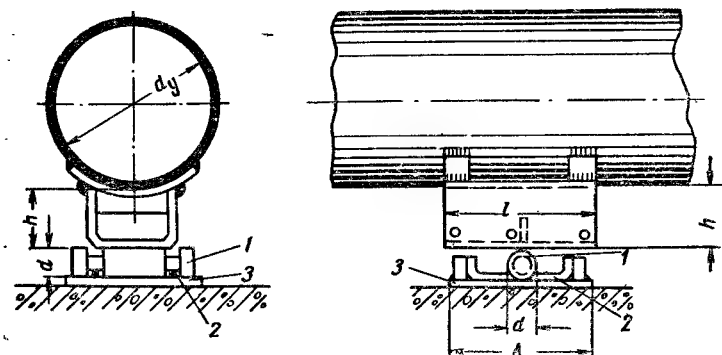


Рис. X.3. Типовая катковая опора

1 — каток; 2 — направляющая планка; 3 — опорный лист

В нормализованной катковой опоре для сохранения правильного положения катка предусмотрены кольцевая выточка посередине катка и направляющая планка, приваренная к опорному листу. Однако при таком устройстве в эксплуатационных условиях наблюдаются значительные перекосы катка. Для устранения перекосов рекомендуется устройство двух выточек в каждом катке и двух направляющих планок (рис. X.3 и табл. X.2).

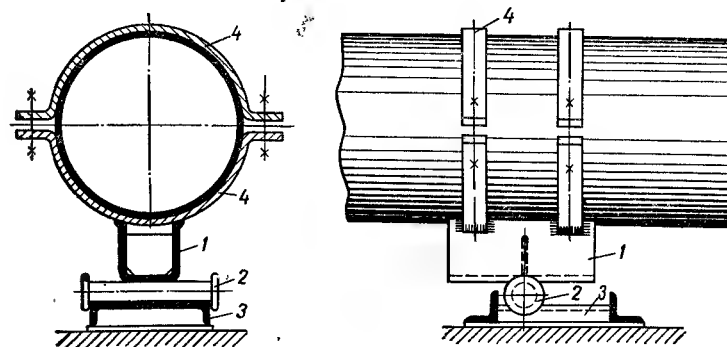


Рис. X.4. Катковая опора, применяющаяся в ГДР

1 — башмак; 2 — каток; 3 — опорный швеллер; 4 — полухомуты

Таблица X.2

Основные размеры деталей и максимальные перемещения катковых опор

Условный диаметр труб d_y в мм	Размеры в мм				Максимальное перемещение Δl в мм
	башмака		катка d	опорной плиты A	
	l	h			
200	250	90; 140	50	250	300
250	250		50	250	360
300	300		50	280	360
350	300		50	280	360
400	340		50	280	360
450	340		50	280	360
500	340		50	300	400
600	360		80	320	400
800	400		80	320	400
1000	400		100	340	400

Примечание. Опоры с $h=140$ мм предусмотрены для теплопроводов с толщиной изоляции более 80 мм.

На рис. X.4 приведена катковая опора, принятая в качестве типовой для трубопроводов, проектируемых Народным предприятием по строительству трубопроводов в ГДР. В этих опорах весьма рациональная конструкция катков, которые при перемещениях всегда удерживаются в правильном положении при помощи выступов (ребор).

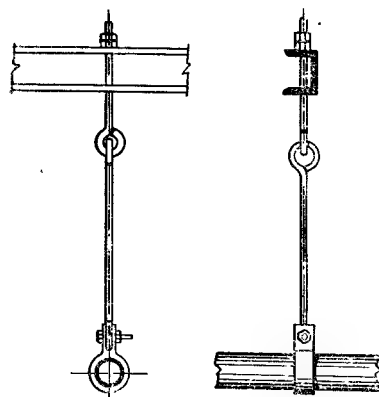


Рис. X.5. Подвесная опора

В зарубежной практике строительства трубопроводов для облегчения монтажа и демонтажа отдается предпочтение разборным конструкциям опор. Вместо приварки башмаков к трубам чаще используются опоры с креплением при помощи полухомутов (см. рис. X.4), соединяемых на болтах.

Для надземных прокладок теплопроводов находят применение подвесные (рис. X.5) и шариковые опоры.

Для условий прокладки наружных тепловых сетей наиболее пригодна шариковая опора (рис. X.6 и табл. X.3).

Таблица X.3

Основные размеры деталей (в мм) шариковых опор теплофикационных трубопроводов

Условный диаметр труб d_y в мм	Башмак						Стальные шарики		Опорная плита	
	B	h	a	s_1	s_2	s_3	d	количество в шт.	A	B
200	250	90; 140	60	10	5	4	20—25	4	250	250
250	250		80	10	6	4	20—25	4	250	250
300	300		80	12	6	4	20—25	4	280	350
350	300		110	12	8	4	20—25	4	280	350
400	340		110	12	8	4	30—40	4	280	350
450	340		130	12	8	6	30—40	4	280	350
500	340		86	15	10	6	30—40	4	300	400
600	360		110	15	10	6	30—40	6	320	400
800	400		130	15	10	6	30—40	6	320	400

Примечание. Опоры с $h=140$ мм предусмотрены для теплопроводов с толщиной изоляции более 80 мм.

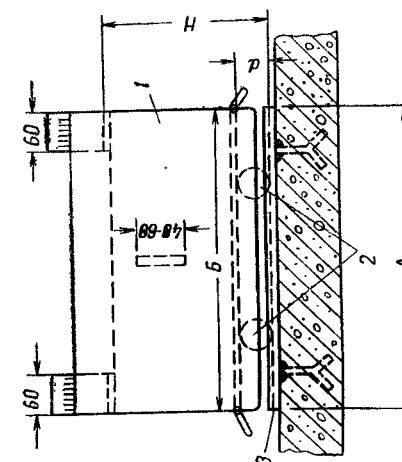
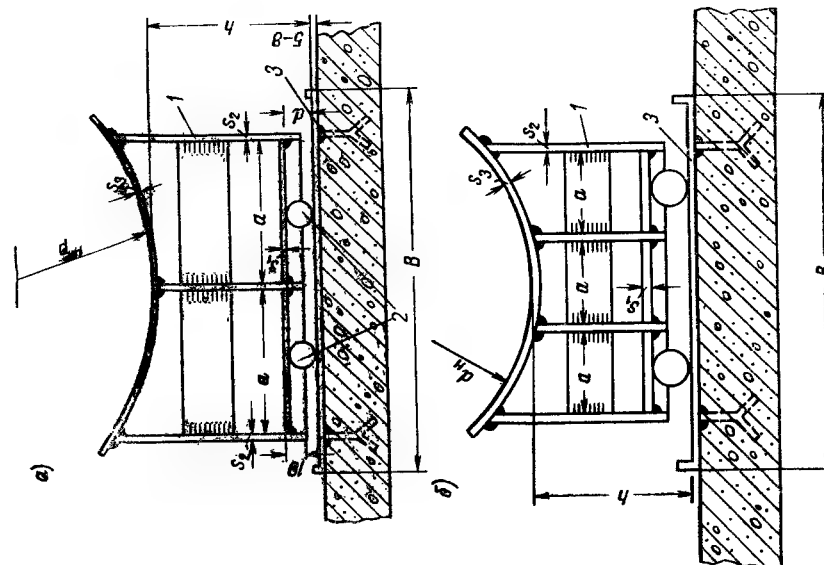


Рис. X.6. Шариковая опора для теплофикационных трубопроводов
 a — для $d_y = 200 + 500$ мм; b — для $d_y = 500 + 700$ мм; 1 — башмак; 2 — шарики; 3 — опорная плита с бортами



В этой опоре шарiki свободно перемещаются вместе с башмаком по подкладному листу и удерживаются от выкатывания за пределы опоры выступами (отогнутыми краями) опорного листа и башмака. При такой конструкции отпадает необходимость в устройстве обоймы для удерживания шариков.

Существует предубеждение против использования катковых и шариковых опор в подземных и надземных прокладках, основанное на том, что не защищенные от коррозии катки и шарики быстро выйдут из строя и вместо сил трения качения будут действовать значительно большие силы трения скольжения. Однако исследования лаборатории теплофикации ВТИ на опытном теплопроводе показали, что искусственно деформированные (в порядке опыта) катки и шарики с большими вмятинами на поверхности все же способны в 5—10 раз уменьшить коэффициент трения по сравнению со скользящими опорами и, следовательно, во столько же раз уменьшить усилия в трубах.

Следовательно, коррозионные повреждения поверхностей катков и шариков и опорных поверхностей не могут стать причиной выхода из строя катковых и шариковых опор и превращения их в простые, скользящие опоры.

В ряде случаев, например на самокомпенсирующихся участках теплопроводов Г- и Z-образной конфигурации, установка шариковых опор весьма рациональна, так как участки около углов поворота всегда имеют перемещения не только в продольном, но и поперечном направлениях. Это позволяет в максимальной степени разгрузить трубопровод от сил трения и наиболее полно использовать самокомпенсирующуюся способность трубопроводов.

Опоры скользящего типа также позволяют трубам перемещаться в любом направлении, но оказывают при этом большое сопротивление трению. Поэтому фактическая гибкость участков Г- и Z-образных схем может оказаться меньше принятой в расчетах.

Способы крепления подвесных опор приведены на рис. X.7—X.9, а размеры креплений — в табл. X.4.

При разработке новых конструкций или при их выборе из числа существующих всегда нужно помнить, что преимущество принадлежит тем из них, которые в максимальной степени разгружают трубопровод от сил трения и в то же время не создают больших препятствий перемещениям труб от изменения температуры при любом возможном направлении их движения. Одна из таких конструкций (рис. X.10) позволяет трубопроводу перемещаться в любом направлении, так как при перемещении в направлении оси трубопровода работают верхние катки, а при перемещении в перпендикулярном направлении — нижние.

В качестве примера неудачного решения опорных конструкций могут служить опоры, установленные в некоторых проходных туннелях Московской теплосети. В них нижняя труба уло-

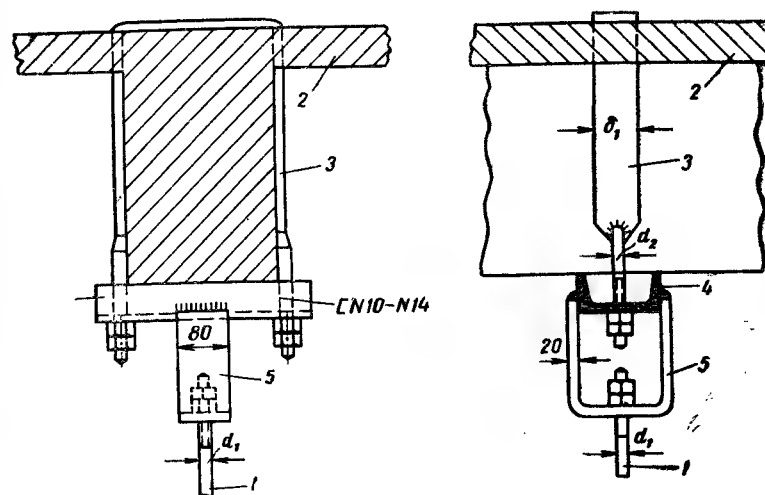


Рис. X.7. Крепление подвесных опор к железобетонным балкам
1 — тяга из круглой стали; 2 — несущая конструкция (железобетонная балка);
3 — скоба из полосовой стали; 4 — швеллер; 5 — малая скоба

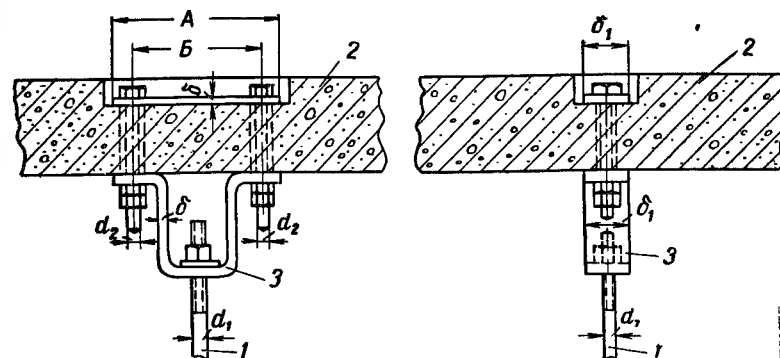


Рис. X.8. Крепление подвесных опор к плитам перекрытий
1 — тяга из круглой стали; 2 — несущая конструкция (плита); 3 — скоба из
полосовой стали

Размеры деталей подвесных опор (в мм.)

Тип опоры	Условный диаметр труб d_y в мм	Скоба из полосовой стали		Диаметр резьбы тяги		Тип опоры	Условный диаметр труб d_y в мм	Подкладка				Скоба		Диаметр резьбы тяги	
		δ	δ_1	d_1	d_2			A	B	δ	δ_1	δ	δ_1	d_1	d_2
По рис. X.7	От 50 до 200	5	20	14	12	По рис. X.8 и X.9	50	170	132	5	40	5	40	14	12
То же	250	10	30	18	16	То же	76	170	136	6	40	5	40	14	12
»	300	10	40	22	20	»	125	200	150	10	50	5	50	14	12
»	350	10	50	26	24	»	150	210	160	14	50	5	50	14	12

Примечание. В опоре по рис. X.9 подкладка заменена скобами 4.

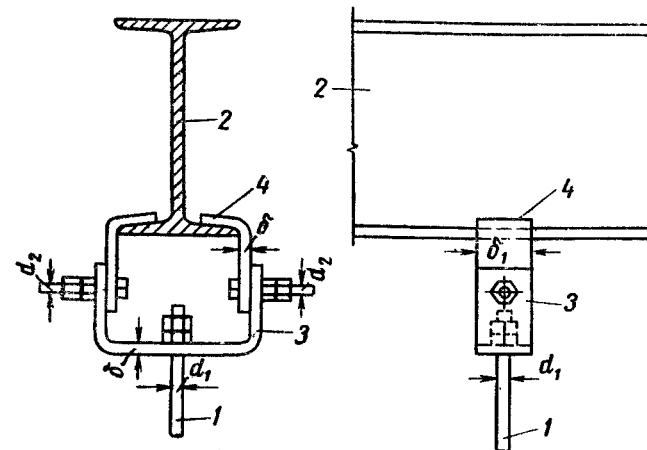


Рис. X.9. Крепление подвесных опор к металлическим балкам
1 — тяга из круглой стали; 2 — металлическая балка; 3 и 4 — скобы из полосовой стали

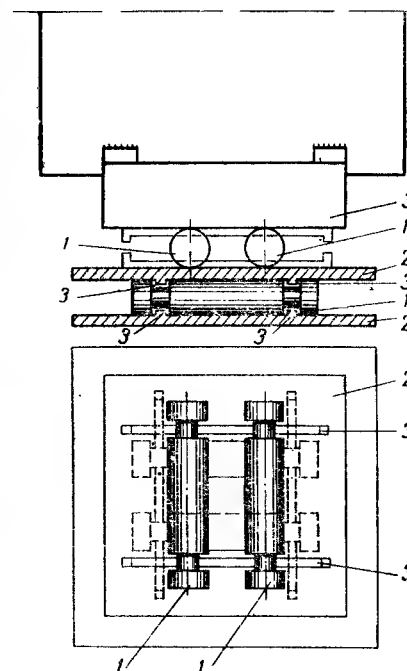


Рис. X.10. Катковая опора с катками, уложенными в двух взаимно-перпендикулярных направлениях

1 — катки с выточками; 2 — опорные плиты с направляющими планками; 3 — направляющая планка

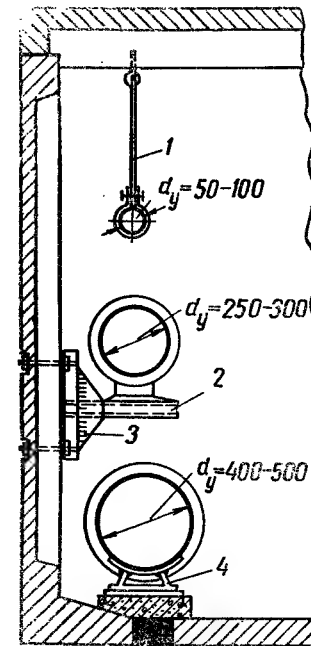


Рис. X.11. Рекомендуемая конструкция опор для проходных туннелей

1 — подвесная опора для трубопровода малого диаметра; 2 — консольная балка; 3 — крепление балки к стене; 4 — скользящая опора для трубопровода большого диаметра

жена на бетонных подкладках и поэтому не нагружает металлический каркас. Для двух остальных труб (верхняя из которых обычно имеет небольшой диаметр) предусмотрена сложная опора, состоящая из стоек, балок, подкосов и связей. Трубы малого диаметра требуют частой установки опор, поэтому на изготовление подобных опорных конструкций непроизводительно затрачивалось большое количество прокатного металла. Значительно более проста и экономична конструкция той же опоры, представленная на рис. X.11. Благодаря подвеске верхней трубы малого диаметра к перекрытию и расположению средней трубы на опорных консолях потребность в металлическом каркасе отпадает.

4. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ В МЕСТАХ УСТАНОВКИ НЕПОДВИЖНЫХ ОПОР

Назначение неподвижного закрепления трубопроводов в отдельных точках заключается в распределении температурных удлинений между отдельными компенсирующими устройствами и в уравнивании осевых усилий в трубопроводе.

От правильного размещения неподвижных закреплений по длине трассы трубопровода во многом зависит величина температурных усилий и напряжений в трубах. Уменьшение последних всегда желательно, так как повышает эксплуатационную надежность теплопроводов. Поэтому при проектировании следует уделять большое внимание рациональному распределению неподвижных опор по трассе теплопроводов, а также их расчету на прочность.

Однако в общем случае невозможно рекомендовать какие-либо готовые решения, касающиеся разбивки неподвижных точек на проектируемом трубопроводе, а также выбора геометрических схем и оптимальной длины самокомпенсирующихся участков.

В частных случаях, например в теплопроводах с сальниковыми компенсаторами, практикой проектирования установлены предельные расстояния между компенсаторами и неподвижными точками. Для канальных подземных прокладок могут быть рекомендованы следующие расстояния:

условный диаметр труб									
d_y в мм	100	150	200	250	300	600			
расстояния в м	80	100	120	130	150	160			

В бесканальных теплопроводах предельные расстояния назначаются по расчету.

Неподвижные опоры в зависимости от действующих усилий разделяются на неразгруженные и разгруженные.

Неразгруженные опоры воспринимают и уравнивают осевые усилия, вызванные гидростатическим давлением теплоносителя. Эти усилия зависят от диаметра труб и могут достигать очень больших величин.

Разгруженные опоры свободны от усилий, вызванных гидростатическим давлением.

Неразгруженные опоры, как правило, характерны для теплопроводов с сальниковыми компенсаторами, разгруженные — для теплопроводов с гибкими (П-образными или др.) компенсаторами, а также для участков теплопроводов с самокомпенсацией.

Конструкции неподвижных опор состоят из двух основных элементов: несущих конструкций (балок, железобетонных плит — см. гл. VII), на которые передаются усилия от трубопроводов, и собственно опор, при помощи которых осуществляется неподвижное закрепление труб (приварные косынки, хомуты).

Неподвижные опоры имеют следующие конструктивные варианты: а) разъемные с хомутами на резьбовых соединениях; б) неразъемные с непосредственной приваркой труб к несущим конструкциям опор; в) неразъемные с приварными упорами; г) щитовые из железобетонных плит (для подземных теплопроводов).

На рис. X.12 дано неподвижное закрепление, применяемое для труб $d_y \leq 100$ мм и рассчитанное на осевые усилия не более 700 кГ. Глубина заделки консоли в кирпичные стены должна быть не менее 380 мм. Отверстие в стене после установки консоли должно быть тщательно заделано цементным раствором состава 1:4.

На рис. X.13 показано крепление к стенам консолей для неподвижных закреплений теплопроводов $d_y = 125 \div 300$ мм, рассчитанное на осевые усилия до 4000 кГ и вертикальную нагрузку (от веса труб) не более 1600 кГ.

На консоли действуют изгибающие моменты одновременно в двух плоскостях, что вызывает необходимость в устройстве упоров, распределяющих нагрузку на большую площадь стены. Плотное прижатие упоров к стене достигается затяжкой сквозной шпильки. На рис. X.14 приведена усиленная конструкция разъемного крепления, используемого для фиксации труб $d_y \geq 300$ мм к стенам.

Конструкция типовых разъемных креплений при помощи хомутов дается в СНиП I-Г.7-62, где использованы нормали МВН—МСЭС 1324—56 и 1326—56; хомуты выполнены из полосовой стали. Однако правильнее их заменить хомутами из стали круглого сечения, а швеллер, к которому крепится трубопровод, расположить полками вниз, как это показано на рис. X.15. При этом можно более сильно притянуть хомуты к поверхности трубы; следовательно, увеличится сила трения, противодействующая проскальзыванию трубы в осевом направлении. Основные размеры креплений, приведенных на рис. X.15, даны в табл. X.5. Хомутовое крепление не рекомендуется устанавливать на трубах диаметром более 700 мм. Оно недостаточно надежно даже для разгруженных опор.

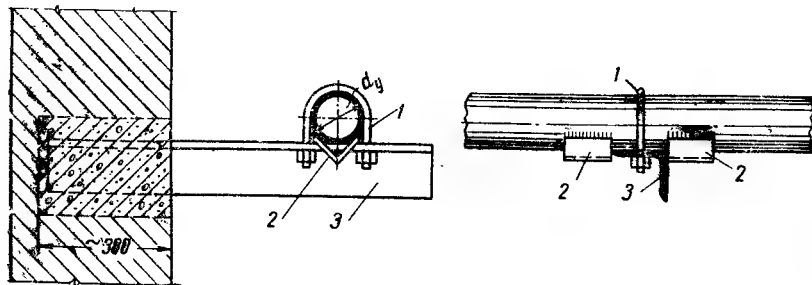


Рис. X.12. Неподвижная опора для труб $d_y \leq 100$ мм
1 — хомут из круглой стали; 2 — приварные упоры из угловой стали; 3 — опорная конструкция (консоль, заделанная в стену)

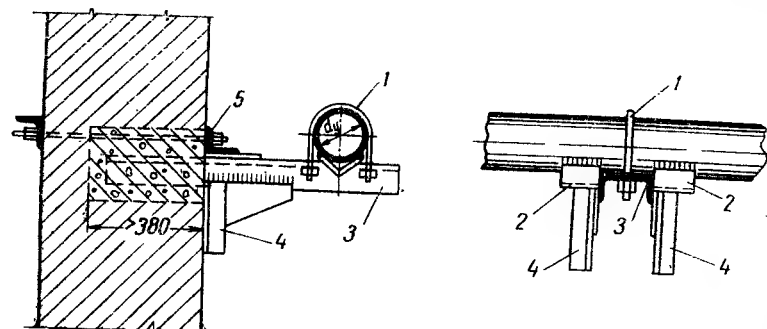


Рис. X.13. Неподвижная опора для труб $d_y = 125 \div 300$ мм
1 — хомут из круглой стали; 2 — приварные упоры; 3 — консоль из швеллера; 4 — вертикальные упоры, распределяющие нагрузку; 5 — шпилька для крепления консоли к стене

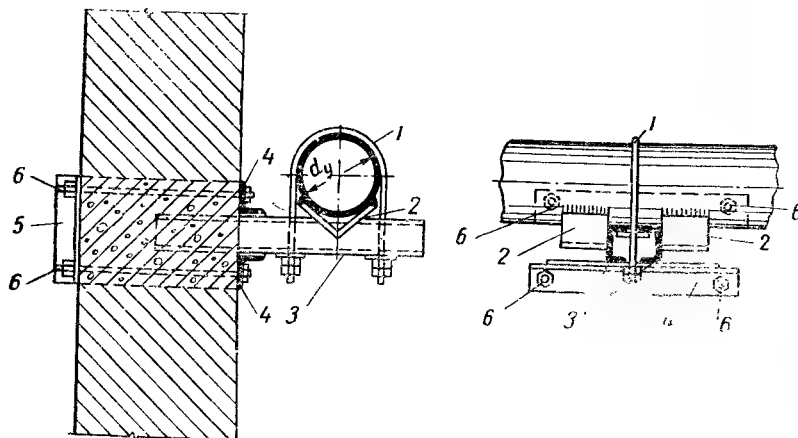


Рис. X.14. Неподвижная опора для труб $d_y \geq 300$ мм
1 — хомут из круглой стали; 2 — приварные упоры; 3 — консоль из двух швеллеров; 4 — горизонтальные упоры, распределяющие нагрузку; 5 — вертикальные упоры; 6 — сквозные шпильки для крепления консоли к стене

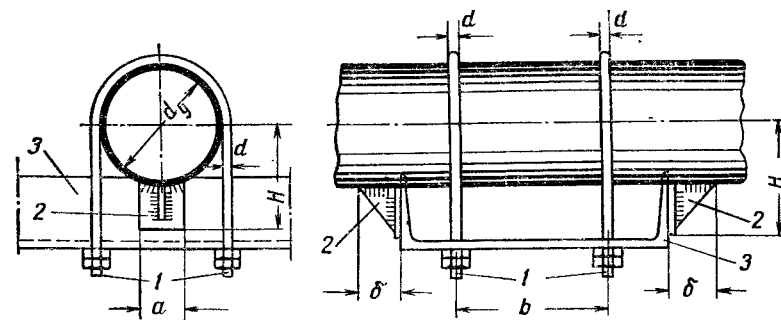


Рис. X.15. Неподвижная опора с двойными хомутами для труб $d_y = 76 \div 700$ мм
1 — хомуты из круглой стали; 2 — приварные упоры; 3 — опорная конструкция из швеллера

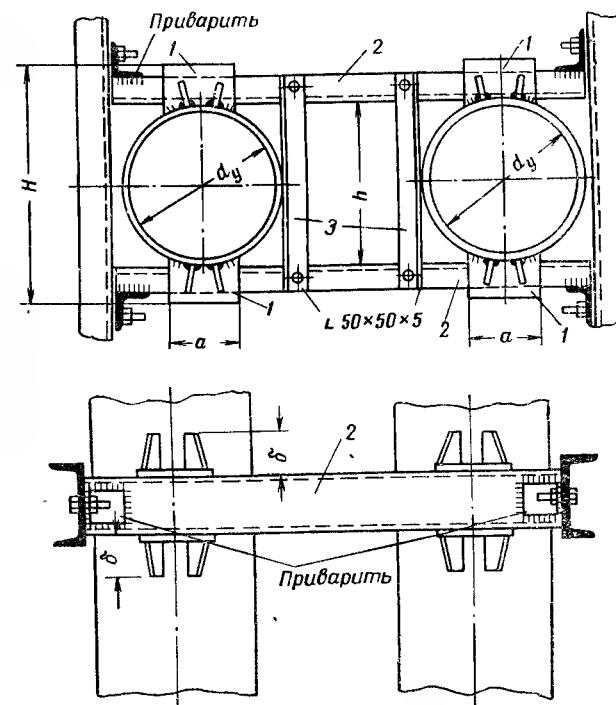


Рис. X.16. Типовая неподвижная опора для трубопроводов

1 — приварные упоры, усиленные ребрами жесткости; 2 — опорная конструкция из двух швеллеров; 3 — связи из угловой стали

Таблица X.5

Размеры деталей и расчетные осевые усилия для неподвижных закреплений с хомутами

Условный диаметр труб d_y в мм	Расчетное осевое усилие в Т	Размеры опор в мм				
		H	a	b	b	d
76	0,5	115	40	50	50	12
100	0,5	135	50	60	50	16
125	0,7	148	60	60	60	20
150	1,2	160	60	80	80	24
200	2,2	190	80	80	100	27
250	3,5	218	80	100	120	30
300	5	260	120	130	150	30
350	7,5	280	120	130	150	30
400	10	308	150	160	150	36
450	12	334	150	160	200	36
500	14	355	200	220	200	42
600	18	410	200	220	250	42
700	25	455	200	220	250	42

Таблица X.6

Размеры деталей и расчетные осевые усилия для неподвижных закреплений типовой конструкции

Условный диаметр труб d_y в мм	Расчетное осевое усилие в Т	Размеры опор в мм			
		H	h	a	b
76	1	230	90	40	50
100	1	270	130	50	60
125	1,5	296	155	50	60
150	2,5	320	185	60	80
200	4,5	380	245	80	80
250	7	436	305	80	100
300	10	520	360	120	130
350	15	560	410	120	130
400	22	616	460	150	160
450	28	668	510	150	160
500	35	710	565	200	220
600	50	820	665	200	220
700	70	910	755	200	250
800	90	1028	855	250	270
900	110	1130	955	300	300
1000	130	1220	1055	350	350

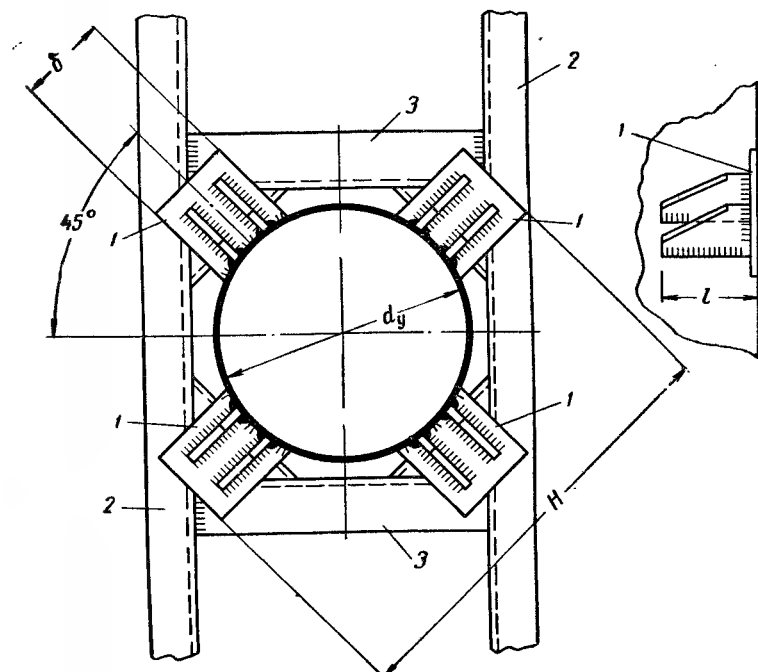


Рис. X.17. Неподвижная опора типовой конструкции для труб большого диаметра

1 — приварные упоры с двумя ребрами жесткости; 2 — несущая конструкция из швеллеров; 3 — поперечные связи

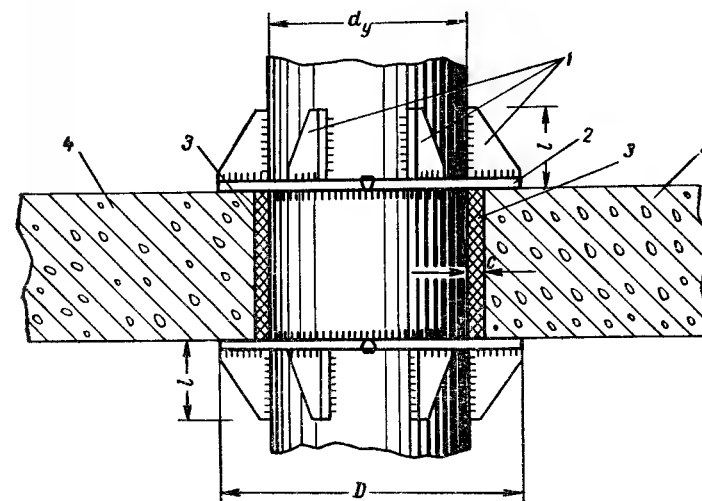


Рис. X.18. Неподвижная опора щитовой конструкции

1 — приварные упоры; 2 — приварные фланцы; 3 — зазор между трубой и щитом, заделываемый асбестовым шнуром; 4 — железобетонная плита (щит)

На рис. X.16 приведена типовая конструкция (МВН 1316-56 и МВН 1322-56), нашедшая очень широкое применение в тепловых сетях для неподвижного закрепления труб в подземных камерах или в проходных туннелях к металлическим балкам или стойкам. Основные размеры приведены в табл. X.6.

Типовое закрепление усиленной конструкции для труб большого диаметра по нормали МВН 1316—56 приведено на рис. X.17, а размеры даны в табл. X.7.

Таблица X.7

Размеры деталей и расчетные осевые усилия для неподвижных опорных креплений усиленной конструкции

Условный диаметр труб d_y в мм	Расчетное осевое усилие в Т	Размеры опор в мм		
		<i>H</i>	<i>б</i>	<i>l</i>
300	25	530	120	160
350	32	580	120	160
400	60	630	160	220
450	60	680	160	220
500	60	730	180	250
600	100	870	200	290
700	100	960	220	290
800	125	1060	240	316
900	150	1160	270	316
1000	200	1260	300	316

Таблица X.8

Размеры деталей и расчетные осевые усилия для опор щитовой конструкции

Условный диаметр труб d_y в мм	Расчетное осевое усилие в Т	Размеры опор в мм		
		<i>D</i>	<i>l</i>	<i>c</i>
100	5—12	190—230	90—110	20
150	10—20	250—290	90—110	20
200	20—35	350—400	112—132	30
250	25—50	410—470	132	30
300	30—65	460—530	132—162	30
350	40—75	530—600	132—162	30
400	60—85	620—660	178—208	40
450	70—100	680—730	178—208	40
500	85—125	750—800	208—238	40
600	95—150	850—910	208—238	40
700	110—185	940—1020	208—238	40
800	140—235	1060—1150	242—272	40
900	150—270	1170—1260	242—272	40
1000	180—330	1280—1390	242—332	40

Широкое применение в проектировании подземных теплосетей, особенно при бесканальной прокладке (например, в теплосетях Ленинграда), находят опоры щитовой конструкции по нормали МВН 1329-60 (рис. X.18). Здесь осевое усилие передается приварными фланцами, усиленными ребрами жесткости, на железобетонную плиту. Плиты бетонируются после окончания монтажа трубопроводов и приварки упоров. Размеры опор приведены в табл. X.8.

Щитовые опоры нельзя рассматривать как абсолютно неподвижные точки трубопровода. Под действием осевых нагрузок опоры могут перемещаться вследствие деформации окружающего грунта, особенно в первое время после монтажа, когда грунт еще недостаточно уплотнился. Однако это не ухудшает работу трубопровода, если перемещения не достигают слишком большой величины (не более 40—50 мм).

Наблюдается также податливость неподвижных опор металлической конструкции в подземных камерах, где опоры труб расположены на балках или стойках.

Однако чрезмерные перемещения опорных конструкций недопустимы, особенно для трубопроводов с сальниковыми компенсаторами, в которых они могут стать причиной серьезных аварий, так как при достаточно большом сдвиге опор в направлении оси труб может произойти вырывание концов труб из сальников компенсаторов. Неподвижные опоры на трубопроводах с сальниковыми компенсаторами, как правило, должны обладать повышенной жесткостью.

5. ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩАЯ АРМАТУРА ДЛЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В тепловых сетях применяется запорно-регулирующая арматура общего назначения: клиновые и дисковые задвижки с выдвижными и невыдвижными шпинделями. Она занимает много места и с трудом размещается в подземных камерах. Смена уплотнений в сальниках задвижек и присоединительных фланцах вследствие этого чрезвычайно затруднена.

По существу, для подземных теплофикационных трубопроводов необходима специальная арматура, которая должна удовлетворять двум главнейшим требованиям: малый габарит и полное отсутствие утечек теплоносителя.

В тепловых сетях в настоящее время используется главным образом стальная арматура. Применение задвижек и вентилей с чугунным корпусом из серого чугуна допускается только в трубопроводах водяных теплосетей $d_y \leq 200$ мм при рабочем давлении не выше 9 кг/см² и температуре не выше 250°С. Установка арматуры из ковкого чугуна допускается на трубопроводах водяных теплосетей и конденсатопроводах $d_y \leq 250$ мм при

рабочем давлении не выше 9 кг/см^2 и температуре не выше 300°C ; на паропроводах при указанных выше параметрах для труб $d_y \leq 200 \text{ мм}$.

Недопустима установка чугунной арматуры (даже если это возможно по расчетным параметрам: величине давления, температуре теплоносителя и диаметру труб) на участках тепловых сетей с самокомпенсацией температурных удлинений, где могут действовать изгибающие напряжения.

Применение запорно-регулирующей арматуры в тепловых сетях регламентировано СНиП I-Г.7-62.

Несмотря на большое количество типов вентиля и задвижек, изготавливаемых заводами арматуростроительной промышленности, большинство из них не удовлетворяют требованиям, указанным выше для подземных тепловых сетей.

В последние годы для технологических трубопроводов химической промышленности освоено производство нового вида арматуры — так называемых диафрагмовых вентилях, не имеющих сальников и длинных шпинделей. По принципу устройства эти вентили (они изготавливаются пока только для труб $d_y \leq 100 \text{ мм}$) являются лучшим прототипом для арматуры тепловых сетей.

Другой прогрессивной конструкцией являются бесфланцевые вентили и задвижки, в которых корпус выполняется с выступами, имеющими фаски для сварки с трубами.

Применение подобной арматуры в тепловых сетях может существенно повысить надежность их эксплуатации и значительно облегчить работу обслуживающего персонала.

6. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Надежность и безаварийность работы тепловых сетей во многом зависит от правильного решения вопросов компенсации температурных удлинений тепловых сетей.

По принципу действия компенсационные устройства могут быть разделены на две основные категории:

1) гибкие или упругие компенсаторы, которые воспринимают температурные перемещения трубопровода при помощи изгиба или кручения участков труб различной геометрической формы или деформации специальных пружинящих элементов, имеющих форму круглых складок, волн, линз и т. п.;

2) осевые компенсаторы скользящего типа, в которых температурные удлинения воспринимаются телескопическим перемещением труб внутри корпуса компенсатора, имеющего сальниковое уплотнение.

Гибкие компенсаторы, согнутые или сваренные из труб, выполняются различной формы: П- и S-образные, лирообразные и

др. Наибольшее распространение получили компенсаторы П-образной формы (рис. X.19 и X.20).

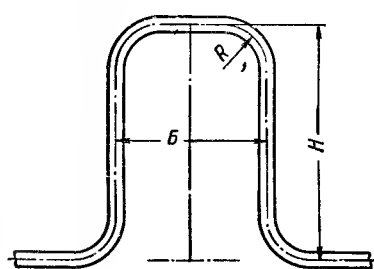


Рис. X.19. П-образный компенсатор с гнутыми отводами

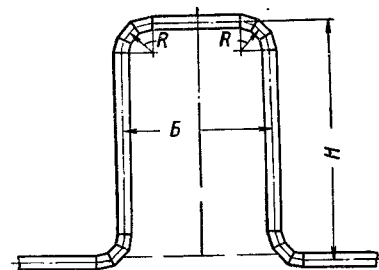


Рис. X.20. П-образный компенсатор со сварными отводами

В зарубежной практике в паропроводах находят также применение П-образные компенсаторы со складчатыми (волнистыми) отводами (рис. X.21). При одинаковых геометрических размерах по ширине и вылету складчатые компенсаторы имеют несколько более высокую (на 12—15%) компенсирующую способность. Следовательно, они позволяют несколько уменьшить ве-

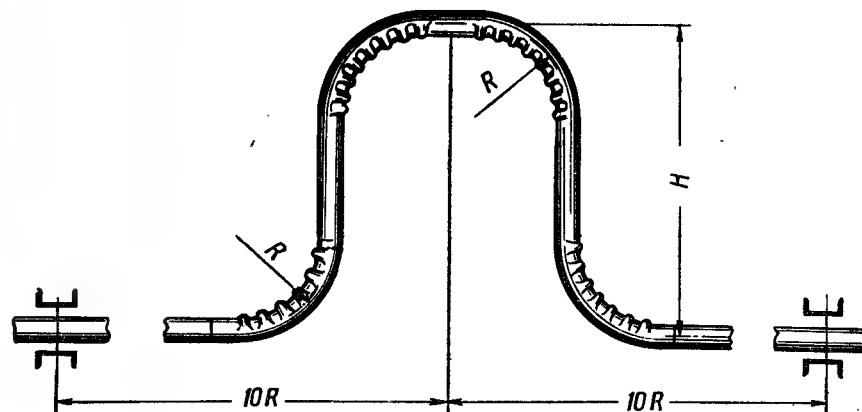


Рис. X.21. П-образный компенсатор со складчатыми отводами

личину вылета. Однако их применение не рекомендуется в водяных тепловых сетях вследствие усиленной коррозии труб в местах складок и волн.

К достоинствам всех гибких компенсаторов относятся: 1) передача на неподвижные опоры только сил упругости ком-

пенсаторов; 2) большая компенсирующая способность; 3) полное отсутствие необходимости в обслуживании. Однако они имеют и ряд недостатков, главные из которых: 1) увеличение стоимости трубопроводов; 2) повышение гидравлического сопротивления сетей трубопроводов; 3) затруднения в размещении компенсаторов, имеющих большие размеры в условиях городских подземных тепловых сетей при насыщенности трассы другими подземными коммуникациями.

К гибким компенсаторам относятся также устройства, действие которых основано на упругой деформации пружинящих элементов. Например, линзовые (или тарельчатые), получившие в различных модификациях большое распространение в зарубежной трубопроводной технике.

Сварные линзовые компенсаторы нормализованы в межведомственных нормалах трубопроводов электростанций Оргэнергостроя для труб диаметром 100—1200 мм. Однако эти компенсаторы имеют крайне ограниченную область применения в тепловых сетях: вследствие своей тонкостенности (обусловленной необходимостью уменьшить продольную жесткость) они не выдерживают внутреннего давления теплоносителя выше 7 кг/см^2 при $d_y \geq 400 \text{ мм}$ и 4 кг/см^2 при $d_y \geq 700 \text{ мм}$.

Наибольшее применение в подземных тепловых сетях нашли сальниковые компенсаторы, относящиеся к осевым скользящего типа. Сальниковые компенсаторы в местах установки разрезают трубопровод на отдельные механически не связанные между собой участки. Разрывы между концами труб внутри компенсаторов (в холодном состоянии трубопровода) достигают 300—400 мм.

Находят применение сальниковые компенсаторы двух видов: односторонние и двухсторонние. Конструкция этих компенсаторов нормализована МН 2593—61 и МН 2598—61 для труб диаметром от 100 до 1000 мм. В качестве уплотнения сальника используется асбестовый шнур (по ГОСТ 1779—55) и теплостойкая резина в виде колец (по ГОСТ 7338—55). Эти компенсаторы рассчитаны на условное давление $P_y \leq 16 \text{ кг/см}^2$.

Основные недостатки существующей конструкции сальниковых компенсаторов заключаются в следующем:

1) сальники требуют постоянного обслуживания, и уход за ними отнимает у эксплуатационного персонала более половины всего времени, затрачиваемого на обслуживание наружных трубопроводов;

2) уплотнительные кольца из теплостойкой резины, предназначенные для ликвидации утечек теплоносителя, периодически затягиваются шпильками у сальников, при этом силы трения возрастают настолько, что компенсатор полностью или частично теряет свою компенсирующую способность и превращается, по существу, в соединительную муфту. В практике эксплуатации известны случаи, когда после сильной затяжки сальников ком-

пенсаторы переставали действовать и трубопровод сильно изгибался от возросших температурных усилий;

3) компенсаторы обладают повышенной чувствительностью к перекосам осей, всегда возможных как при монтаже, так и во время эксплуатации. Практикой установлено, что несовпадение геометрических осей корпуса и стакана компенсатора приводит к его «заклиниванию»;

4) компенсаторы требуют увеличения габаритов подземных камер и увеличения расстояния между трубами (подающей и обратной) для возможности завертывания и развертывания шпилек при устранении утечек и для смены уплотнений.

Трубопровод в местах установки сальниковых компенсаторов разрезан на части, поэтому при наличии отвода или закрытой задвижки на неподвижные опоры передаются так называемые неуравновешенные силы, которые могут достигать величин порядка 100—150 т и более от каждой из двух труб теплосети.

Проектирование неподвижных опор на такие усилия вызывает большие затруднения, а стоимость их сооружения увеличивает капитальные затраты.

Для облегчения неподвижных опор за рубежом разработаны и находят практическое применение так называемые разгруженные или уравновешенные сальниковые компенсаторы.

Рациональные конструкции компенсирующих устройств для тепловых сетей должны удовлетворять следующим основным требованиям:

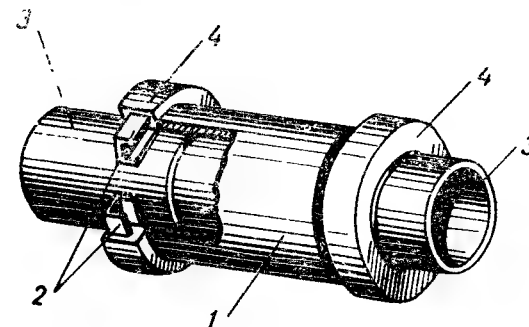
- 1) максимально разгружать трубопроводы от температурных усилий;
- 2) иметь компенсирующую способность не менее 150 мм;
- 3) иметь небольшое гидравлическое сопротивление движению теплоносителя.

Кроме того, они не должны требовать частого осмотра и регулярного обслуживания (смены набивки, подтягивания болтов сальников и т. д.) и сохранять работоспособность при небольших перекосах осей.

Представляет интерес новая экономичная конструкция компенсирующего устройства с самоуплотняющимися манжета-

Рис. X.22. Компенсатор ВТИ

1 — корпус; 2 — самоуплотняющиеся манжеты из теплостойкой резины; 3 — подвижные стаканы компенсатора; 4 — кольцевые камеры, служащие для вставки манжет



ми, которая разработана во ВТИ под руководством А. А. Скворцова.

Компенсатор ВТИ (рис. X.22) состоит из трех деталей: цилиндрического корпуса с приваренными обечайками и двух подвижных стаканов. В комплект устройства входят также две манжеты из теплостойкой резины.

Эти компенсаторы способны воспринимать температурные удлинения с двух сторон по аналогии с двухсторонним сальниковым компенсатором.

Для компенсаторов, устанавливаемых около углов поворота трассы или рядом с задвижками, предусматривается предохранительное устройство (рис. X.23), препятствующее в аварийных случаях выходу стаканов из корпуса компенсатора. Стяжные шпильки и приварные упоры должны быть проверены на прочность при действии осевого неуравновешенного усилия.

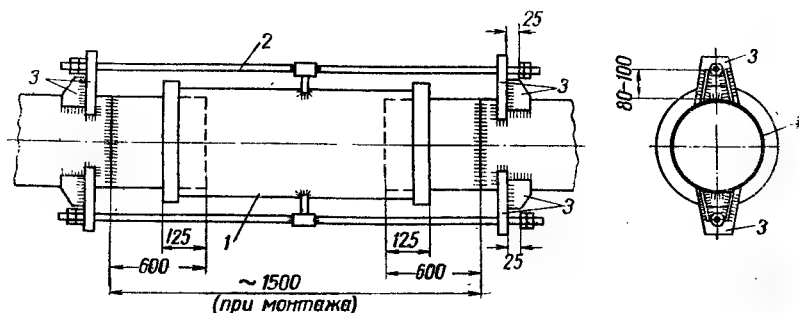


Рис. X.23. Компенсатор ВТИ с предохранительным устройством
1 — корпус; 2 — тяги, неполноценно прикрепленные (в середине длины) к корпусу;
3 — упоры усиленные ребрами жесткости

Герметичность компенсаторов обеспечивается двумя резиновыми манжетами, у которых внутренняя полость под давлением теплоносителя расширяется и они надежно уплотняют кольцевые зазоры между стаканами и корпусом компенсатора. Манжеты являются важнейшей деталью, от качества работы которой зависит надежность действия всего компенсирующего устройства в целом. Поэтому внедрение компенсаторов нового типа может быть реализовано только при условии организации изготовления манжет на заводах резинотехнических изделий.

Конструкция манжетного компенсатора приведена на рис. X.24, а основные размеры даны в табл. X.9.

Преимущества манжетных компенсаторов по сравнению с сальниковыми следующие:

- а) отсутствие сальников с натяжными шпильками;
- б) отсутствие необходимости в регулярном наблюдении и обслуживании;

- в) снижение в 2—2,5 раза веса и стоимости изготовления;
- г) повышение герметичности уплотнения с возрастанием давления теплоносителя;

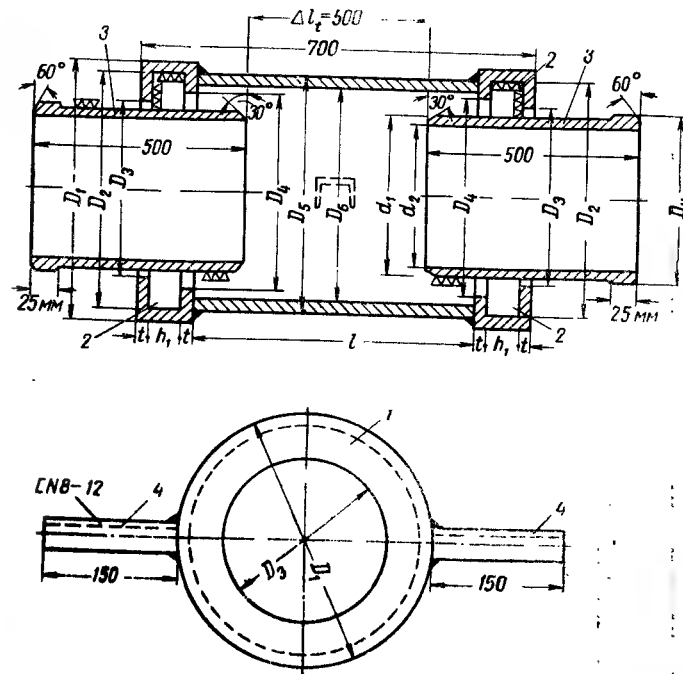


Рис. X.24. Конструкция манжетного компенсатора ВТИ
1 — корпус; 2 — кольцевые камеры для манжет; 3 — подвижные стаканы; 4 — упоры для закрепления корпуса компенсатора

- д) сохранение компенсирующей способности при перекосах осей корпуса и стаканов (в пределах 10—12°);
- е) простота изготовления и сборки.

Установка сальниковых и манжетных компенсаторов предпочтительнее на так называемых уравновешенных схемах (рис. X.25, а и б), которые позволяют упростить и облегчить неподвижные опоры трубопровода.

Располагать неподвижные опоры в уравновешенных схемах следует так, чтобы $L_1 \approx L_2$.

Неуравновешенные схемы (рис. X.25, в и г) требуют изготовления компенсаторов с предохранительными устройствами, кроме того, утяжеляются конструкции неподвижных опор вследствие увеличения осевых усилий. Поэтому при проектировании тепловых сетей следует избегать выбора неуравновешенных схем с сальниковыми и манжетными компенсаторами.

Размеры компенсаторов с самоуплотняющимися манжетами

Условный диаметр труб d_y в мм	Размеры корпуса компенсатора в мм									Вес корпуса в кг	Размеры стакана в мм			Вес стаканов (2 шт.) в кг	Общий вес компенсатора в кг
	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	l	h_1	t		d_1	d_2	D_H		
100	167	157	122	136	152	140	628	26	5	27,5	120	114	122	8,6	36,1
150	214	202	169	182	194	182	624	26	6	35,8	167	154	169	24,8	60,6
200	275	259	220	234	273	257	616	26	8	68,6	218	207	220	28,4	97
250	328	312	274	295	325	309	616	26	8	80,5	272	259	276	41,6	122,1
300	386	370	326	355	377	357	606	31	8	114,2	324	309	328	57,8	172
350	437	421	378	400	426	408	606	31	8	118,7	376	357	378	83,6	202,3
400	496	480	427	455	478	460	606	31	8	134,7	425	410	430	76	210,7
450	552	532	480	510	529	511	588	36	10	148,8	477	464	483	74	222,4
500	602	582	530	565	630	612	588	36	10	182,6	528	516	534	76,4	258
600	701	681	622	661	720	706	578	41	10	172,5	620	606	630	106,8	279,3
700	791	771	712	751	820	806	578	41	10	195	710	696	720	120,4	315,4
800	891	871	812	851	920	906	578	41	10	219,8	810	796	820	138,5	358,3

Примечания: 1. Компенсаторы рассчитаны на условное давление теплоносителя 16 атм.

2. Максимальная компенсирующая способность $\Delta l_t = 500$ мм, максимальная температура теплоносителя $t = 150^\circ\text{C}$.

3. Для изготовления стаканов следует выбирать трубы с наружным диаметром D_H , указанным в таблице, в пределах плюсовых допусков, предусмотренных ГОСТ 8732—58 и ГОСТ 4015—58.

Таблица X.10

Характеристики и области применения компенсаторов различных типов

Тип компенсатора	Условный диаметр труб d_y в мм	Компенсирующая способность компенсаторов в мм	Максимальное давление теплоносителя P в кг/см ²	Вылет компенсатора H в м	Материал	Показатель веса (по отношению к весу двухстороннего сальникового компенсатора)	Область применения	Эксплуатационная характеристика
Гибкие компенсаторы из труб								
Компенсаторы П-образные:								
а) с гнутыми отводами (см. рис. X.19) . .	50—500	100—400	37	1,6—5	Стальные трубы	1,5—4	Тепловые сети при любом способе прокладки, производственные паропроводы промразводок	Не требуют обслуживания. Гарантируют полное отсутствие утечек теплоносителя. Большая компенсирующая способность. Применимы при высоком давлении пара. Работоспособны при перекосах осей трубопровода и при осадке опор. Не передают больших усилий на неподвижные опоры. Создают дополнительные гидравлические потери
б) со сварными отводами (см. рис. X.20) . .	200—1200	200—500	16	3—10	То же	2—4	То же	

Тип компенсатора	Условный диаметр труб d_y в мм	Компенсационная способность компенсаторов в мм	Максимальное давление P в кг/см ²	Вылет компенсатора H в мм	Материал	Показатель веса (по отношению к весу двухстороннего сальникового компенсатора)	Область применения	Эксплуатационная характеристика
в) с волнистыми (складчатыми) отводами (см. рис. X.21) . . .	100—500	200—500	16—20	1—6	Стальные трубы	1,2—3	Паропроводы среднего давления	Недостаточно долговечны; при большом числе циклов (сжатие—растяжение) подвержены внутренней коррозии
	76—250	10 (на одну линзу)	7	$D_{\text{линзы}} = 2d_y$	Листовая углеродистая сталь Ст. 3	0,15—0,2	Технологические трубопроводы, трубопроводы электростанций	Не требуют обслуживания. Не имеют утечек. Мала компенсационная способность. Непригодны при давлении более 7 атм
Гибкие компенсаторы осевого типа с пружинящими элементами	500—1500	10—15 (на одну линзу)	1—2	$D_{\text{линзы}} = 1,5d_y$	То же	0,15—0,2	Преимущественно применяются в паропроводах низкого давления и газопроводах	То же. Непригодны при давлении более 2 атм
Компенсаторы линзовые сварные								

Тип компенсатора	Условный диаметр труб d_y в мм	Компенсационная способность компенсаторов в мм	Максимальное давление P в кг/см ²	Вылет компенсатора H в мм	Материал	Показатель веса (по отношению к весу двухстороннего сальникового компенсатора)	Область применения	Эксплуатационная характеристика
Осевые компенсаторы скользящего типа Сальниковые неуравновешенного типа: а) односторонние б) двухсторонние	100—1200	200	16	0,8—1,5	Стальные трубы	0,5	Тепловые сети при подземной прокладке, паропроводы низкого давления	Требуют регулярного обслуживания. Наблюдаются периодические утечки теплоносителя. Заклиниваются при перекосе осей труб. Передают большие осевые усилия на неподвижные опоры
	100—1200	2×200	16	1,7—3	То же	1		
Сальниковые уравновешенного типа . .	150—800	250—300	25	1,6—2,5	»	3—3,5	Тепловые сети при любом способе прокладки для среднего и повышенного давления	Требуют регулярного обслуживания. Не передают усилий от внутренних давлений на неподвижные опоры. Существенно облегчают конструкции неподвижных опор
	100—800	2×250	16	1,5	»	0,3—0,4	Тепловые сети при подземной прокладке	Не требуют обслуживания. Не заклиниваются при перекосе осей до 8—10°. Передают небольшие осевые усилия на неподвижные опоры
Манжетные неуравновешенного типа . .								

Важнейшими задачами в области конструирования и изготовления рациональных компенсирующих устройств, предназначенных для теплофикационных трубопроводов, являются: сни-

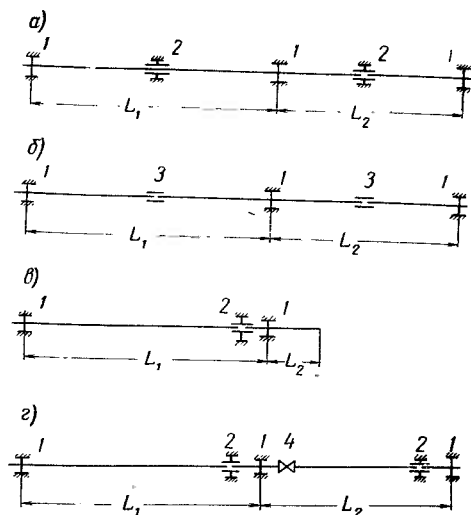


Рис. X.25. Схемы установки сальниковых и манжетных компенсаторов на трубопроводе

а—уравновешенная схема с неподвижными опорами 1 и с закреплением корпуса компенсаторов 2; б—уравновешенная схема с незакрепленными, «плавающими» компенсаторами 3; в—неуравновешенная схема с установкой манжетных компенсаторов, требующих установки предохранительного устройства; г—неуравновешенная схема, применяющаяся при наличии задвижки 4 и требующая установки предохранительных устройств

жение веса, увеличение компенсирующей способности и эксплуатационной надежности, уменьшение трудоемкости изготовления, максимальная разгрузка трубопроводов от действия осевых сил и изгибающих напряжений.

Для выбора компенсирующих устройств могут быть использованы данные табл. X.10, в которой приведены основные технические характеристики и указаны области применения различных компенсаторов.

Глава XI

РАСЧЕТ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ РАСЧЕТА

Еще недавно расчет теплофикационных труб на прочность по аналогии с другими напорными трубопроводами ограничивался расчетом на действие внутреннего давления теплоносителя. Все остальные нагрузки и внешние воздействия учитывались косвенно — путем произвольного повышения коэффициента запаса прочности, т. е. понижения допускаемого напряжения при расчете труб на разрыв.

Это приводило к чрезмерному утолщению стенок труб и, следовательно, к перерасходу металла.

Необходимость в пересмотре и уточнении устаревших методов расчета назрела уже давно, однако и до настоящего времени не разработаны нормативы для расчета прочности теплофикационных труб, аналогичные существующим для труб другого назначения (например, для трубопроводов энергетических установок — котельных и электростанций — или для магистральных трубопроводов для транспорта нефти и газа). Указанное обстоятельство затрудняет проектирование, а в ряде случаев тормозит внедрение прогрессивных технических решений и экономичных конструкций, позволяющих получить экономию трубоного металла.

В комплекс расчета теплофикационных трубопроводов на прочность входят:

- расчет напряжений, вызванных внутренним давлением теплоносителя, и определение толщины стенок труб;
- расчеты на компенсацию температурных удлинений;
- расчет напряжений и усилий в трубах от весовых нагрузок и от сил трения в опорах;
- расчет напряжений от сил трения в грунте при бесканальной прокладке трубопроводов;
- расчет усилий, действующих на неподвижные опоры.

Кроме того, при проектировании может встретиться необходимость в дополнительных расчетах, например напряжений, вызванных неравномерным распределением температуры по высоте сечения трубы в пусковом периоде (например, в наружных паропроводах), или напряжений от ветровых нагрузок при надземной прокладке.

Трубопроводы, служащие для транспорта тепла при повышенных параметрах (давление пара выше 16 кг/см^2 , температура выше 250°C), должны рассчитываться по «Нормам расчета элементов паровых котлов на прочность».

Для расчета теплофикационных трубопроводов с давлением теплоносителя не выше 16 кг/см^2 и температурой не выше $200\text{—}250^\circ\text{C}$ необходимо пользоваться нормами проектирования магистральных трубопроводов (СНиП II-Д.10-62), которые разработаны на основе метода предельных состояний. Этот метод используется в настоящее время в расчетах на прочность строительных конструкций как наиболее прогрессивный по сравнению с расчетами, основанными на допускаемых напряжениях.

Указания СНиП II-Д.10-62 распространяются на «холодные» трубопроводы, и в них не учитывается снижение прочности стали под влиянием температуры. Для теплофикационных трубопроводов, большинство из которых нагревается до температуры 150°C лишь в течение небольшого количества часов в году, это снижение также может не учитываться, так как оно не превышает $4\text{—}5\%$.

Нагрузки, действующие на трубопровод и его напряженное состояние, существенно зависят от способа прокладки.

При прокладке в непроходных подземных каналах и проходных туннелях трубы полностью разгружены от веса грунта, воздействия нагрузок от транспорта и ветровых нагрузок. Трубопровод, уложенный на подвижные опоры (скользящие или катковые), представляет многопролетную неразрезную балку. Наряду с напряжениями от собственного веса σ_n трубы испытывают также продольные σ_a и тангенциальные напряжения σ_t от внутреннего давления, а также компенсационные напряжения σ_k .

При неравномерной осадке опор напряжения σ_n могут сильно возрасти. Как показали многочисленные вскрытия теплопроводов канальной и бесканальной прокладок, неравномерные осадки труб происходят чаще всего по следующим причинам:

а) неодинаковая плотность грунта по длине трассы вследствие его неоднородности. Особенно часто это встречается в условиях городских сетей, прокладываемых на небольшой глубине, где встречаются насыпные грунты, прослойки органического происхождения и т. п.;

б) неправильное ведение земляных работ по разработке траншей, когда в местах излишнего заглубления допускается местная подсыпка рыхлых грунтов.

Напряжения от изгиба в стенках труб могут возрасти и в результате неверной установки опор, если уклон оси труб не проверяется в процессе монтажа. В связи с этим рекомендуется уменьшать расстояния между опорами в непроходных каналах по сравнению с расстояниями, принятыми для проходных туннелей. Стоимость опор простейшего (скользящего) типа невелика, и поэтому установка дополнительных опор не вызовет существенного удорожания.

Максимальные напряжения в подземных теплопроводах, уложенных в каналах, чаще всего возникают около неподвижных опор, где действуют максимальные компенсационные усилия и максимальные изгибающие моменты от весовых нагрузок.

При надземной прокладке трубопроводов на мачтах, столбах и эстакадах с пролетным строением, а также на подвесных опорах наибольшие напряжения в трубах вызывают весовые нагрузки. Дополнительной нагрузкой здесь является ветровая. Вызываемые ею напряжения в трубах малого диаметра приблизительно равны напряжениям от внутреннего давления теплоносителя. В трубах среднего диаметра они снижаются до половины, а в трубах большого диаметра — до $0,1$ напряжения от внутреннего давления.

К дополнительным напряжениям относятся напряжения изгиба, вызванные осадкой подвесных опор труб.

Значительно отличаются от рассмотренных выше условия работы бесканальных теплопроводов.

Различаются две основные конструкции бесканальных теплопроводов: разгруженные и неразгруженные.

К первым относятся трубопроводы, проложенные в жестких изоляционных оболочках с небольшим воздушным зазором между трубой и изоляцией (например, в цилиндрических оболочках, собранных из сегментов); ко вторым — трубопроводы, проложенные в оболочках из армопенобетона без воздушных зазоров, и бесканальные прокладки с засыпной изоляцией. В разгруженных теплопроводах нагрузка от грунта полностью или частично воспринимается жесткой изоляционной оболочкой, и силы трения между неподвижной оболочкой и трубой поэтому имеют относительно небольшую величину. В неразгруженной конструкции силы трения достигают значительно большей величины, так как перемещения труб здесь происходят совместно с пенобетонной оболочкой. При засыпной изоляции силы трения также велики, так как давление грунта полностью передается на поверхность труб. Определение напряжений в стенках бесканальных теплопроводов осложняется неопределенностью и изменчивостью величины давления грунта на трубы. Несмотря на большое количество проведенных теоретических и экспериментальных исследований, задача определения давления грунта на трубы (как и на другие подземные сооружения) еще не может считаться окончательно разрешенной. Давление грунта зависит от

целого ряда факторов, учесть которые в теоретических расчетах весьма трудно. Существует большое число формул, предложенных разными авторами для определения давления на подземные трубопроводы, которые значительно отличаются друг от друга как в расчетных предпосылках, так и по результатам расчета.

Существенное влияние на прочность бесканальных теплопроводов оказывают неравномерные осадки грунта под трубами. В местах прохода через камеры трубопровод опирается на их стены. Здесь в большинстве случаев создается защемление трубопровода при его изгибе в вертикальной плоскости под действием весовой нагрузки и давления грунта.

Проверка на продольный изгиб при сжатии необходима для прямолинейных участков трубопровода большой длины с сальниковыми (или манжетными) компенсаторами. Под действием осевых усилий сжатия такие трубопроводы могут потерять устойчивость, что не допустимо при установке сальниковых компенсаторов.

2. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ТРУБ

Трубопроводы наружных тепловых сетей с давлением не выше 16 кг/см^2 и температурой не более 200°C могут рассчитываться на внутреннее давление по СНиП II-Д.10-62. Кольцевые напряжения в стенке трубопровода проверяются по формулам

$$\frac{n p_0 d_{\text{вн}}}{2\delta} \leq R_1; \quad (\text{XI.1})$$

$$\frac{n p_0 d_{\text{вн}}}{2\delta} \leq 0,9 R_2^H, \quad (\text{XI.2})$$

где n — коэффициент перегрузки, равный 1,1;
 p_0 — рабочее (нормативное) давление в кг/см^2 ;
 $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр трубы в см ;
 δ — номинальная толщина стенки трубы в см ;
 R_1 — расчетное сопротивление металла трубы в кг/см^2 ;
 R_2^H — нормативное сопротивление, равное наименьшему значению предела текучести σ_T , в кг/см^2 .

Если заводские испытания труб ведутся при напряжениях меньше $0,9 R_2^H$, то в уравнение (XI.2) вместо $0,9 R_2^H$ следует вводить величину напряжения, соответствующую испытательному давлению.

Расчетное сопротивление

$$R_1 = R_2^H k_1 m_1 m_2,$$

где

$R_2^H = \sigma_{\text{вр}}$ — нормативное сопротивление растяжению металла труб и сварных соединений из условий работы на разрыв (для Ст.3 $\sigma_{\text{вр}} = 4000 \text{ кг/см}^2$; для Ст.4 $\sigma_{\text{вр}} = 4200 \text{ кг/см}^2$; для стали 20 $\sigma_{\text{вр}} = 4400 \text{ кг/см}^2$);

k_1 — коэффициент однородности при разрыве стали (для бесшовных стальных труб из углеродистой стали $k_1 = 0,8$; для сварных труб из углеродистых сталей $k_1 = 0,85$);

m_1 — коэффициент условий работы материала при разрыве труб, равный 0,8;

m_2 — коэффициент условий работы трубопровода, равный для разводящих трубопроводов тепловых сетей 0,75 и для магистральных теплопроводов 0,6.

При этом гидравлическое испытание на прочность должно производиться под давлением

$$p_{\text{исп}} = 1,25 p_{\text{раб}},$$

но не менее чем $p_{\text{раб}} + 5 \text{ кг/см}^2$ и не менее 5% сварных стыков труб должно быть подвергнуто контролю физическими методами испытания.

Толщина стенки труб определяется по формулам

$$\delta = \frac{n p_0 d_{\text{вн}}}{2 (R_1 + n p_0)}; \quad (\text{XI.3})$$

$$\delta = \frac{n p_0 d_{\text{вн}}}{2 (0,9 R_2^H + n p_0)}. \quad (\text{XI.4})$$

В дальнейшие расчеты вводится ббльшая из величин, подчитанных по обеим формулам.

3. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ИЗГИБ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕСОВЫХ НАГРУЗОК

Трубопровод, уложенный на опоры, представляет собой многопролетную неразрезную балку, воспринимающую вес трубы, воды и теплоизоляции. В отдельных случаях необходимо учитывать временную монтажную нагрузку в виде сосредоточенных сил величиной, равной 100—150 кг .

В трубопроводах большого диаметра необходимо учитывать вес задвижек, если они не имеют специальных опор, и вес, передаваемый ответвляющимся трубопроводом. Наибольший изгиб

бающий момент в трубопроводе, уложенном на опорах, действует в крайних пролетах, примыкающих к свободно опертым концам. Если свободно опертые концы трубопровода допускают поворот на некоторый угол (например, установлены линзовые компенсаторы или временная заглушка), то максимальный опорный изгибающий момент определяется по формуле

$$M_B = 0,105qL^2, \quad (XI.5)$$

а прогиб в середине крайнего пролета — по формуле

$$f = \frac{1}{185} q \frac{L^4}{EJ}. \quad (XI.6)$$

Во всех остальных случаях максимальные изгибающие моменты определяются по формулам: над опорами

$$M_B = \frac{qL^2}{12}; \quad (XI.7)$$

в пролете

$$M_{l/2} = \frac{qL^2}{24}. \quad (XI.7a)$$

Прогиб трубопровода в средних пролетах определяется по формуле

$$f = \frac{qL^4}{384EJ}. \quad (XI.8)$$

Здесь q — суммарный расчетный вес трубопровода;
 L — расстояние между опорами;
 EJ — жесткость поперечного сечения трубы.

Максимальные изгибающие напряжения равны: над опорой

$$\sigma_n = 8,3 \frac{qL^2}{W} \text{ кг/см}^2, \quad (XI.9)$$

в пролете

$$\sigma_n = 4,15 \frac{qL^2}{W} \text{ кг/см}^2. \quad (XI.10)$$

Расстояние между опорами назначается в зависимости от двух принятых условий: 1) уровня напряжений, т. е. по условию прочности; 2) допускаемого прогиба, т. е. по условию деформации.

В ряде случаев, например в паропроводах наружной прокладки, второе условие будет определять максимальную величину пролета, который по условию прочности мог быть принят большим. Для трубопроводов, укладываемых в непроходных ка-

налах, следует уменьшать расстояния между опорами (по сравнению с надземными прокладками и прокладками в туннелях). Это не вызовет существенного удорожания прокладки в целом вследствие малой стоимости опор простейшего (скользящего) типа.

Рациональные расстояния между опорами в непроходных каналах определяются в зависимости от диаметра труб:

при $d_y = 25 \div 50$ мм		$L = 60 d_y$
» $d_y = 80 \div 400$ »		$L = 30 d_y$
» $d_y = 500 \div 1200$ »		$L = 20 d_y$

Расчет теплопроводов на изгиб от весовой нагрузки с одновременным действием осевых сил от трения в опорах и сальниках компенсаторов, а также от внутреннего давления теплоносителя следует вести в соответствии со СНиП II-Д.10-62.

При этом осевые силы реакции П-образных компенсаторов можно не учитывать. Напряжения от этих сил (сжатия или растяжения) не превосходят 10 кг/см^2 в трубопроводах $d_y = 100 \div 500$ мм и $20-25 \text{ кг/см}^2$ в трубопроводах $d_y > 500$ мм.

Прочность трубопровода в наиболее напряженном сечении должна удовлетворять условию

$$\frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} \leq R_2, \quad (XI.11)$$

где R_2 — расчетное сопротивление материала трубы;
 N — расчетное продольное (осевое) усилие в трубопроводе;
 M — расчетный изгибающий момент в рассматриваемом сечении;
 F и W — площадь и момент сопротивления поперечного сечения трубы.

Расчетное сопротивление R_2 принимается: для разводящих трубопроводов теплосетей $R_2 = 0,81 \sigma_T$; для магистральных теплопроводов $R_2 = 0,5 \sigma_T$.

Расчетное осевое усилие в трубопроводе

$$N = \frac{n p_0 \tau d_n^2}{4} \pm \mu q L_{н.о} \pm P_K, \quad (XI.12)$$

где n — коэффициент перегрузки, равный 1,1;
 p_0 — давление теплоносителя;
 q — суммарный расчетный вес трубопровода;
 μ — коэффициент трения опор;
 $L_{н.о}$ — расстояние от неподвижной опоры до компенсатора;
 P_K — сила трения в сальнике компенсатора.
Здесь рассматривается сечение трубопровода у неподвижной опоры, как наиболее напряженное, для которого силы трения опор суммируются со всего участка длиной $L_{н.о}$.

Расчетный изгибающий момент от одновременного изгиба труб в двух плоскостях

$$M = \sqrt{M_v^2 + (M_k + M_{вт})^2}, \quad (XI.13)$$

где M_v — расчетный изгибающий момент от весовой нагрузки, действующий в вертикальной плоскости;

M_k — расчетный изгибающий момент в самокомпенсирующихся трубопроводах, действующий в горизонтальной плоскости;

$M_{вт}$ — расчетный изгибающий момент от ветровой нагрузки, действующий в горизонтальной плоскости.

Для вычисления величины $M_{вт}$ используются формулы (XI.5), (XI.7) и (XI.7а) с заменой q на q_v — расчетную ветровую нагрузку.

Для приближенного определения максимально допускаемого расстояния между опорами (без учета сил трения и ветровой нагрузки) можно пользоваться формулой

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{12W \left(R_2 - \frac{1,1p_0 d_n}{4\delta} \right)}{q_{\text{расч}}}}. \quad (XI.14)$$

Пример расчета на прочность надземного теплопровода

Проверить прочность надземного теплопровода $d_y = 800$ мм, работающего с давлением $p_0 = 16$ кг/см² и уложенного на скользящих опорах, которые установлены на отдельно стоящие железобетонные маты.

Температурные удлинения компенсируются П-образными компенсаторами.

Параметры трубы: $d_n = 82$ см; $d_{вн} = 80,6$ см; $\delta = 0,7$ см; $J = 147\,000$ см⁴; $F = 180$ см²; $W = 3660$ см³. Диаметр изолированного трубопровода $d_{из} = 112$ см. Расстояние между опорами $L = 25$ м = 2500 см. Расстояние от неподвижной опоры до компенсатора $L_{н.о} = 100$ м = 10 000 см. Вес трубы с водой и изоляцией 840 кг/м. Скоростной напор ветра $q_0^B = 70$ кг/м². Коэффициент трения скользящих опор $\mu = 0,3$. Расчетное сопротивление для труб из Ст.3 $R_2 = 0,81 \cdot 2500 = 2025$ кг/см².

Расчетные изгибающие моменты определяются:

от веса трубы с водой и изоляцией в сечениях над опорами по формуле (XI.7)

$$M_v = \frac{1,1 \cdot 840 \cdot 25^2}{12} = 48\,180 \text{ кгм};$$

от ветровой нагрузки в тех же сечениях трубопровода

$$M_{вт} = \frac{1,3 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 1,12 \cdot 25^2}{12} = 3180 \text{ кгм};$$

от одновременного изгиба в двух плоскостях по формуле (XI.13)

$$M = \sqrt{48\,180^2 + 3180^2} = 48\,200 \text{ кгм}.$$

Расчетное осевое усилие в трубопроводе определяется по формуле (XI.12)

$$N = \frac{1,1 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 80,6^2}{4} \pm 1,1 \cdot 0,3 \cdot 840 \cdot 100 = 117\,700 \text{ кг}.$$

Подставляем полученные для расчетного режима величины в формулу (XI.11):

$$\frac{117\,700}{180} + \frac{4\,820\,000}{3660} = 650 + 1320 = 1970 \text{ кг/см}^2.$$

Максимальная величина напряжения, равная 1970 кг/см², меньше расчетного сопротивления, равного 2025 кг/см².

Следовательно, рассматриваемый трубопровод обладает достаточной прочностью. Так как максимальное напряжение меньше расчетного сопротивления, то расстояние между опорами может быть даже несколько увеличено.

Определим величину прогиба трубопровода по формуле (XI.8):

$$f = \frac{8,4 \cdot 2500^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 147\,000} = 2,8 \text{ см},$$

что составляет немногим более 1/1000 пролета.

Из условия свободного стока воды (или конденсата из паропроводов) при минимальном уклоне оси трубопровода $i = 0,005$ прогиб не должен превышать 1/800 пролета.

4. УСИЛЕНИЕ ТРУБ С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ОПОРАМИ ТРУБОПРОВОДОВ

В проектной практике часто возникает необходимость в совместной прокладке труб большого и малого диаметра. В этом случае расстояния между опорами, очевидно, определяются величиной прогиба и напряжений у труб, имеющих наименьший диаметр, что приводит к увеличению количества опорных конструкций и удорожает прокладку.

Экономичное решение при проектировании надземной прокладки (или прокладки в проходных туннелях) может быть получено:

а) при использовании собственной несущей способности труб большого диаметра с укладкой на них или подвеской к ним труб малого диаметра;

б) путем увеличения жесткости труб малого и среднего диаметра при помощи приварки на части длины продольных ребер.

Первый способ детально рассмотрен Б. В. Лопатыным. Им даны расчетные формулы для определения напряжений системы двух труб, одна из которых большего, а другая меньшего диаметра, механически связанных между собой подвесками.

Второй способ основан на местном увеличении жесткости поперечного сечения труб в местах действия максимальных изгибающих моментов от весовой нагрузки. Приварка ребер позволя-

ет увеличить расстояния между опорами на 40—50% при дополнительной затрате металла, не превышающей 10% веса труб.

Как известно из теории расчета неразрезных балок, максимальные изгибающие моменты в опорных сечениях быстро уменьшают свою величину по мере удаления сечения от оси опоры.

Благодаря этому свойству эпюры изгибающих моментов приварка ребер на сравнительно небольшой длине трубопровода, приблизительно на 0,08—0,1 пролета (в каждую сторону от опоры), позволяет уменьшить изгибающие напряжения от осевой нагрузки в опасных сечениях и, следовательно, увеличить расчетный пролет, так как влияние напряжений от внутреннего давления теплоносителя и осевых сил сравнительно невелико.

Ребра из полосовой стали изготавливаются переменной высоты, уменьшающейся по мере удаления от опоры (рис. XI.1, а и б), что позволяет уменьшить затраты металла на изготовление ребер. Аналогично балкам равного сопротивления изгибу ребра позволяют наиболее полно использовать собственную несущую способность трубопровода по всей его длине.

Ребра располагаются в растянутой зоне сечения (рис. XI.1, в) и привариваются к трубам под углом 30° к вертикали.

Для расчета труб, усиленных ребрами, необходимо определить положение центра тяжести составного сечения — трубы и ребер (рис. XI.1, г):

$$y_s = \frac{\frac{Fd_n}{2} + 2a\delta \left(d_n + \frac{a \cos \alpha}{2} \right)}{F + 2a\delta}, \quad (\text{XI.15})$$

где F — площадь сечения стенок трубы;
 d_n — наружный диаметр трубы;
 a — высота ребра;
 δ — толщина ребра;
 α — угол наклона ребра к вертикальной оси сечения трубы.

Затем вычисляется момент инерции составного сечения относительно оси X_s и момент сопротивления по формулам

$$\left. \begin{aligned} J_s &= J_1 + F \left(y_s - \frac{d_n}{2} \right)^2 + 2a\delta \left(d_n + \frac{a \cos \alpha}{2} - y_s \right)^2; \\ W &= \frac{J_s}{e}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{XI.16})$$

где J_1 — собственный момент инерции трубы (без ребер);
 e — расстояние от оси X_s , проходящей через центр тяжести S , до наиболее удаленного волокна составного сечения с приваренными ребрами.

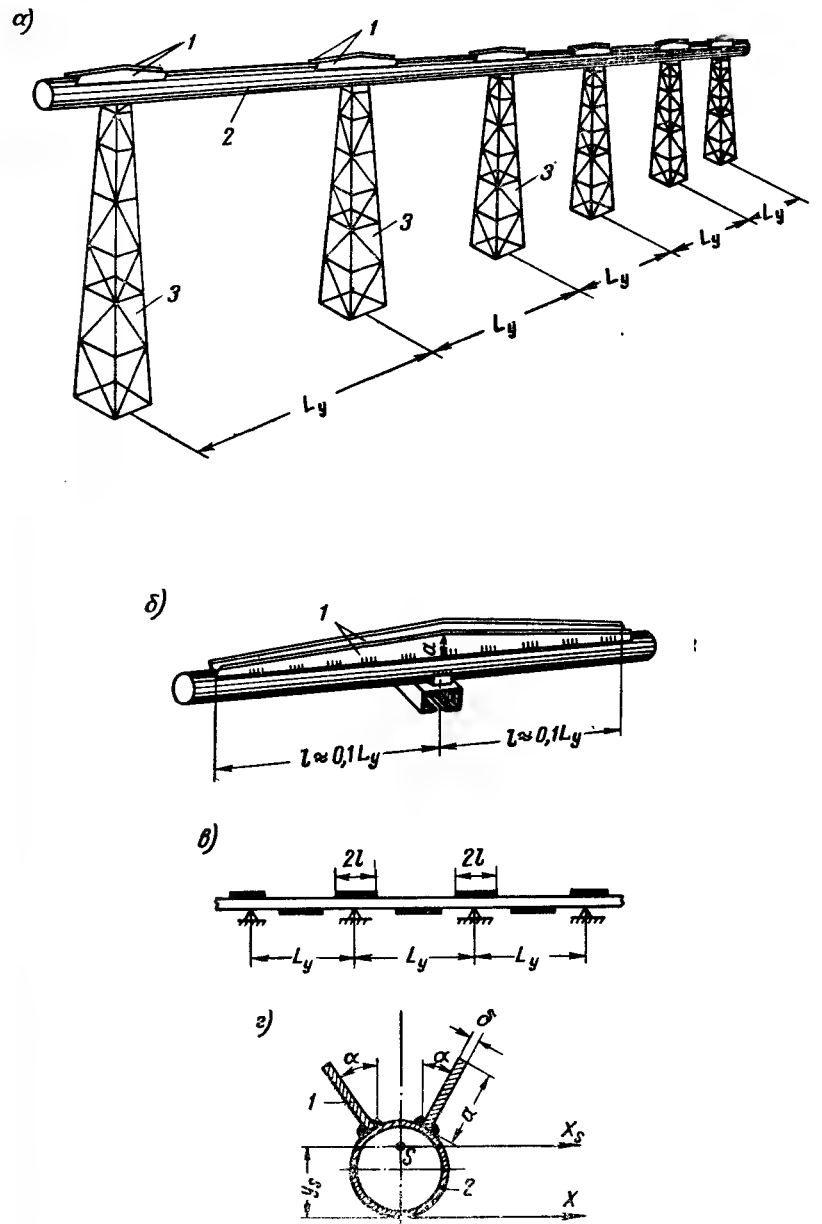


Рис. XI.1. Трубопроводы, усиленные приваренными ребрами
 а — общий вид трубопровода с приваренными ребрами; б — расположение ребер над опорой; в — схема расположения ребер в пролете и над опорами трубы; г — схема усиленного сечения с ребрами; 1 — ребро; 2 — трубопровод; 3 — опора

Геометрические характеристики усиленных труб (см. рис. XI.1, а)
и величины допускаемых пролетов между опорами

Условный диаметр труб d_y в мм	Толщина стенки трубы в мм	Размеры ребер в см			Сечение трубы без усиления		Сечение трубы усиленное		Пролет между опорами в м		Увеличение пролета $\frac{L_y}{L_1}$ в %
		высота a	толщина δ	длина l	момент инерции J_s в см ⁴	момент сопротивления W в см ³	момент инерции J_s в см ⁴	момент сопротивления W_s в см ³	без усиления L_1	после усиления L_y	
76	3	6	0,6	60	46	12,1	246	45	5	9,5	90
100	4	8	0,8	85	177	32,8	847	80	8	12	50
150	4,5	8	1	85	652	82	1840	145	9,5	12,5	32
200	6	12	1	85	652	82	2838	188	9,5	14	50
		150	1,2	180	2279	208	8400	432	18	26,1	45

Длина ребер определяется из условия равенства изгибающего момента в трубопроводе величине σW (где W — момент сопротивления трубы без усиления ребрами; σ — напряжение, принимаемое в пределах 500—600 кг/см²).

Изгибающий момент на расстоянии x от опоры (рис. XI.2) приближенно можно определить по уравнению

$$M_x = q \frac{Lx}{2} - q \frac{x^2}{2} - q \frac{L^2}{12}. \quad (XI.17)$$

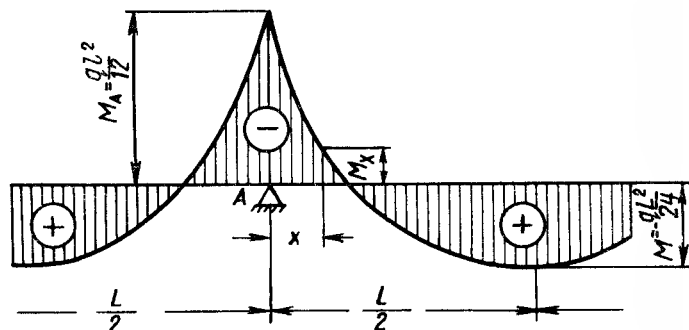


Рис. XI.2. Расчетная схема для определения длины ребер

Приравняв в выражении (XI.17) значение M_x величине σW , получим уравнение для определения величины длины ребра x .

Расстояние между опорами для усиленных труб определяется по формуле

$$L_y = L_1 \sqrt{\frac{W_s}{W}}, \quad (XI.18)$$

где L_1 — расстояние между опорами неусиленных труб;

W_s — момент сопротивления усиленной трубы.

В табл. XI.1 приведены характеристики усиленных труб $d_y = 75 \div 200$ мм и даны величины максимально допускаемых пролетов между опорами.

Для труб диаметром 250 мм и более ребра изготавливаются из уголкового или таврового профилей с приваркой поперечных диафрагм жесткости из листовой стали $\delta = 6$ мм во избежание выпучивания ребер, расположенных в сжатой зоне.

Определение прогиба труб, усиленных ребрами. В некоторых случаях величина пролета определяется не прочностью труб, а их прогибом, который не должен превышать определенной заранее заданной величины.

Прогиб может быть уменьшен дополнительной приваркой к трубам ребер жесткости также и в средней части пролета.

Для неразрезных многопролетных балок с переменной жесткостью по длине, которую представляет собой трубопровод с приваренными ребрами, прогибы наиболее просто могут быть определены при помощи графоаналитического метода.

Пример расчета теплопровода, усиленного ребрами жесткости

Для трубы диаметром 219 мм, усиленной ребрами (см. рис. XI.1, а), определить длину ребер и увеличение пролета между опорами.

Исходные данные: $d_H = 21,9$ см при $\delta = 1,2$ см; $a = 15$ см; $J = 2279$ см⁴; $W = 208$ см³; $F = 40$ см²; $\alpha = 21^\circ$ ($\cos \alpha = 0,93$); $L_1 = 18$ м; $q = 80$ кг/м; $\sigma = 500$ кг/см².

Координата центра тяжести по уравнению (XI.15)

$$y_s = \frac{\frac{40 \cdot 21,9}{2} + 2 \cdot 15 \cdot 1,2 \left(21,9 + \frac{15}{2} \cdot 0,93 \right)}{(40 + 2 \cdot 15 \cdot 1,2)} = 19,4 \text{ см.}$$

Момент инерции усиленного сечения по уравнению (XI.16)

$$J_s = 2279 + 40 \left(19,4 - \frac{21,9}{2} \right)^2 + 2 \cdot 15 \cdot 1,2 \left(21,9 + \frac{15}{2} \cdot 0,93 - 19,4 \right)^2 = 8400 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления усиленного сечения

$$W_s = \frac{8400}{19,4} = 432 \text{ см}^3.$$

Следовательно, приварка ребер над опорами увеличивает жесткость труб в $\frac{432}{208} \approx 2$ раза.

Длина ребер находится из уравнения (XI.17), путем подстановки вместо M_x произведения σW . Тогда

$$500 \cdot 208 \cdot 10^{-2} = \frac{80 \cdot 18x}{2} - \frac{80x^2}{2} - \frac{80 \cdot 18^2}{12}.$$

Решая это квадратное уравнение относительно x , находим длину ребра (в каждую из сторон, считая от оси опоры): $x \approx 1,8$ м, что составляет 10% длины пролета между опорными мачтами.

При высоте ребер, постепенно уменьшающейся от 15 (над опорой) до 1 см (в конце), вес их в одном пролете равен 50,5 кг. По отношению к весу трубы это составит 8,9%.

В результате усиления труб приваркой ребер пролет между опорами может быть увеличен на основании уравнения (XI.18) в отношении, определяемом

$$\frac{L_y}{L_1} = \sqrt{\frac{W_s}{W}} = \sqrt{\frac{432}{208}} = 1,45 \text{ раза.}$$

5. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ, УЛОЖЕННЫХ НА ПОДВЕСНЫХ ОПОРАХ

Одним из весьма распространенных способов увеличения расстояний между опорами является вантовая система прокладки труб на подвесных опорах.

Вантовая система схематично представлена на рис. XI.3.а. Здесь трубы опираются на несмещаемые опоры, расположенные на мачтах, а также на смещаемые (в вертикальной плоскости) упругие опоры.

При расположении всех четырех опор (подвесных и установленных на мачтах) на одной прямой в трубопроводе, представляющем собой неразрезную балку, возникнут наименьшие изгибающие моменты от собственного веса. Выравнивание опор по прямой с заданным уклоном осуществляется регулировкой длин тяг муфтами после завершения монтажа при заполненном водой трубопроводе.

При изменениях температуры наружного воздуха длины тяг изменяются. Вследствие этого подвесные опоры изменяют свое положение по высоте, и в трубах возникают дополнительные напряжения изгиба.

Общее решение задачи для вантовой системы подвески труб при совместном воздействии весовых нагрузок и изменения температуры дано в работе Е. М. Залкинда. Приводимый здесь расчет ограничивается только определением дополнительных напряжений в трубах.

Величина осадки подвесных опор с достаточной точностью может быть найдена по приближенной формуле

$$\delta_t = \frac{\Delta l_t'}{\sin \beta} + \frac{\Delta l_t}{2 \operatorname{tg} \beta}, \quad (\text{XI.19})$$

где $\Delta l_t' = l' \alpha \Delta t$ — температурное удлинение наклонной тяги;
 $\Delta l_t = l \alpha \Delta t$ — температурное удлинение горизонтальной тяги.

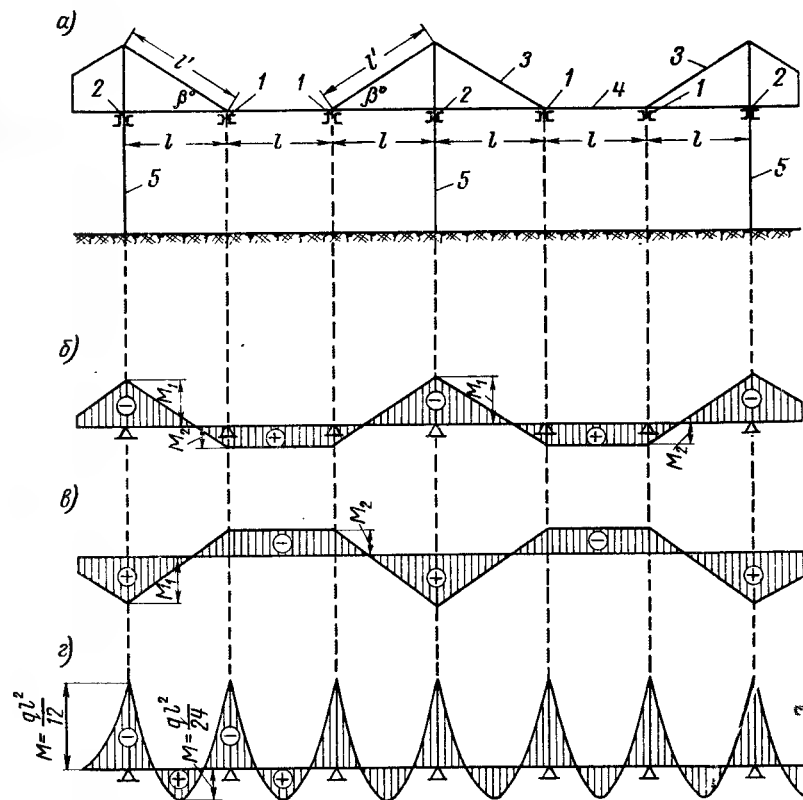


Рис. XI.3. Вантовая система прокладки трубопроводов и эпюры изгибающих моментов

а — расчетная схема трубопровода с подвесными опорами; б — изгибающие моменты от осадки опор (летом); в — то же, от подтягивания опор вверх (зимой); г — то же, от собственного веса трубопровода; 1 — подвесные опоры; 2 — опоры на мачте; 3 — наклонные тяги; 4 — трубопровод; 5 — мачты

На рис. XI.4 приведен график для определения δ_t в зависимости от расстояния между подвесными опорами l и угла наклона тяг β при $\Delta t = 60^\circ$. Это соответствует для средней географической полосы температуре выверки опор $5^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$. Очевидно, оптимальная температура выверки опор должна приближаться к средней между максимальной температурой тяг летом и минимальной зимой.

Из приведенного на рис. XI.4 графика следует, что уменьшение угла наклона тяг до 15° приводит к слишком большим

температурным осадкам опор, достигающим 30—40 мм при $l=7\div 9$ м, а это способно сильно увеличить напряжение изгиба в трубах и, следовательно, снизить эффективность применения подвесной системы. Оптимальной величиной угла β следует считать 20—25°. Дальнейшее увеличение угла наклона потребует существенного удлинения мачт и поэтому не всегда рационально.

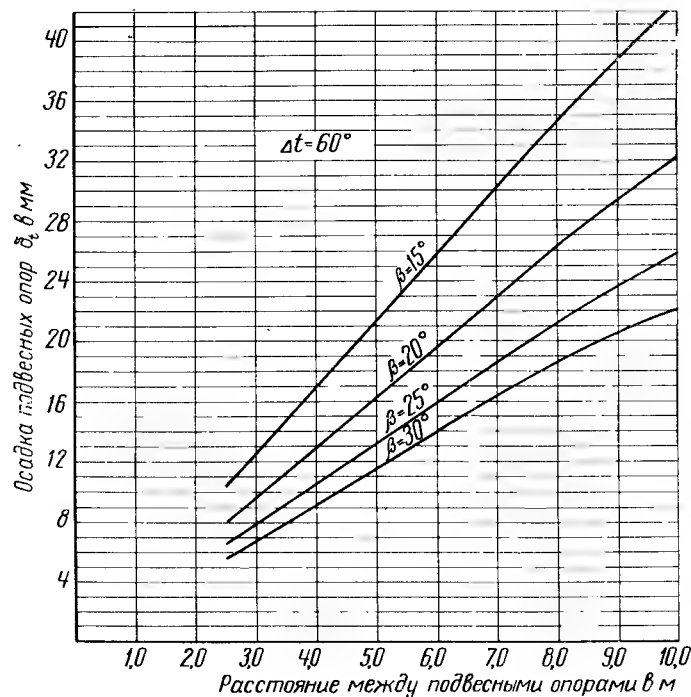


Рис. XI.4. График для определения величины осадки в зависимости от расстояния между опорами и от угла наклона троса

Дополнительные изгибающие моменты в трубопроводе (см. рис. XI.3) от осадки подвесных опор равны

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{3,98 E J \delta_t}{l^2}; \\ M_2 &= \frac{1,96 E J \delta_t}{l^2}, \end{aligned} \right\} \quad (XI.20)$$

где M_1 — изгибающий момент в трубопроводе на опоре, установленной на мачте;

M_2 — изгибающий момент в трубопроводе у подвесных опор;

l — расстояние между подвесными опорами.

Формулы (XI.20) пригодны также для расчета напряжений в трубах, вызванных укорочением тросов зимой, когда подвесные опоры могут быть приподняты тросами, что вызовет появление изгибающих напряжений в трубах обратного знака по сравнению с напряжениями от осадки опор летом. Эпюры изгибающих моментов, вызванных перемещением опорных точек и действием весовой нагрузки, приведены на рис. XI.3, б, в и г.

Расчеты показывают, что дополнительные напряжения от осадки опор быстро возрастают с увеличением диаметра труб.

Например, для трубопроводов малого диаметра (100 мм и менее) дополнительные напряжения изгиба от осадки опор не превышают 150—200 кг/см²; в трубах среднего диаметра (250—300 мм) они равны 350—400 кг/см², а в трубах диаметром 400—500 мм уже достигают 600—700 кг/см², в связи с чем применение подвесных опор (см. рис. XI.3) для труб диаметром более 500 мм не рекомендуется.

6. РАСЧЕТ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ ТЕПЛОПРОВОДОВ

В общем случае неподвижные опоры служат для закрепления двух смежных участков трубопровода; на них передается разность противоположно направленных усилий слева и справа от опоры.

Например, на неподвижную опору в точке Б (рис. XI.5), установленную между двумя двухсторонними сальниковыми компенсаторами, действуют: разность сил трения в сальниках и разность усилий трения в подвижных опорах.

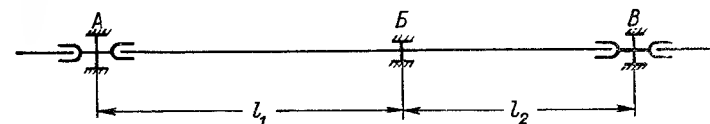


Рис. XI.5. Схема компенсации температурных удлинений трубопровода

Легко видеть, что при равенстве пролетов l_1 и l_2 и равенстве диаметров труб, усилия от трения в опорах должны быть равны, но противоположны по знаку, так как движение трубопровода при изменении температуры происходит во взаимно противоположном направлении. Следовательно, при $l_1=l_2$ неподвижная опора теоретически не будет испытывать нагрузки

от осевых усилий от трения опор. Однако это не совсем правильный вывод, так как уравнивание усилий произойдет в трубопроводе лишь в стационарном температурном режиме, а в процессе прогрева труб (пусковой режим) температура труб на участке l_1 может увеличиться, в то время как участок l_2 еще не прогреется. Следовательно, действие сил трения может оказаться односторонним. Поэтому было бы неправильным при расчете усилий, действующих на неподвижные опоры, алгебраически складывать их величины слева и справа от опоры, забывая о возможной неодновременности действия. Точное решение задачи требует установления распределения температур по длине трубопровода в пусковом периоде в каждый момент времени, что представляет весьма трудную задачу.

В практике проектирования находят применение различные формулы для расчета усилий, действующих на неподвижные опоры.

Таким образом, расчет конструкций на действие сил трения значительно сложнее, чем это обычно принято считать. Кроме того, правильное определение сил трения требует знания основных физических законов действия этих сил.

Исследования вопросов трения, проведенные в Институте физической химии АН СССР под руководством акад. Б. В. Дерягина, в значительной степени изменяют существовавшие до сих пор представления о физическом существе сил трения. Опытами последних лет установлено, что коэффициенты трения сильно изменяют свою величину в зависимости от продолжительности времени неподвижного контакта трущихся поверхностей, степени их увлажнения, действия вибрации и т. д. Все эти факторы очень трудно учесть в расчетах и проектировании.

Поэтому при расчете на прочность конструкций неподвижных опор следует считаться с большой приближенностью в определении сил трения, в котором предполагается постоянство коэффициента трения в опорах. Вследствие этого не имеет смысла усложнять расчеты, пользуясь большим количеством формул для суммирования сил. Рассмотрим способы суммирования усилий для основных, наиболее употребительных схем, приведенных на рис. XI.6.

Движение труб по опорам может начаться лишь при условии, что осевое усилие, вызванное температурным удлинением, окажется больше суммы сил трения опор на длине рассматриваемого участка. На неподвижные опоры действуют довольно большие усилия: так, например, в теплопроводах диаметром 500 мм и более они достигают 10—15 Т. Однако, несмотря на недостаточную в отдельных случаях прочность неподвижных опор, в трубопроводах с гибкими компенсаторами и самокомпенсацией никогда не наблюдается повреждений труб по этой причине.

Это объясняется тем, что сдвиг неподвижных опор и даже

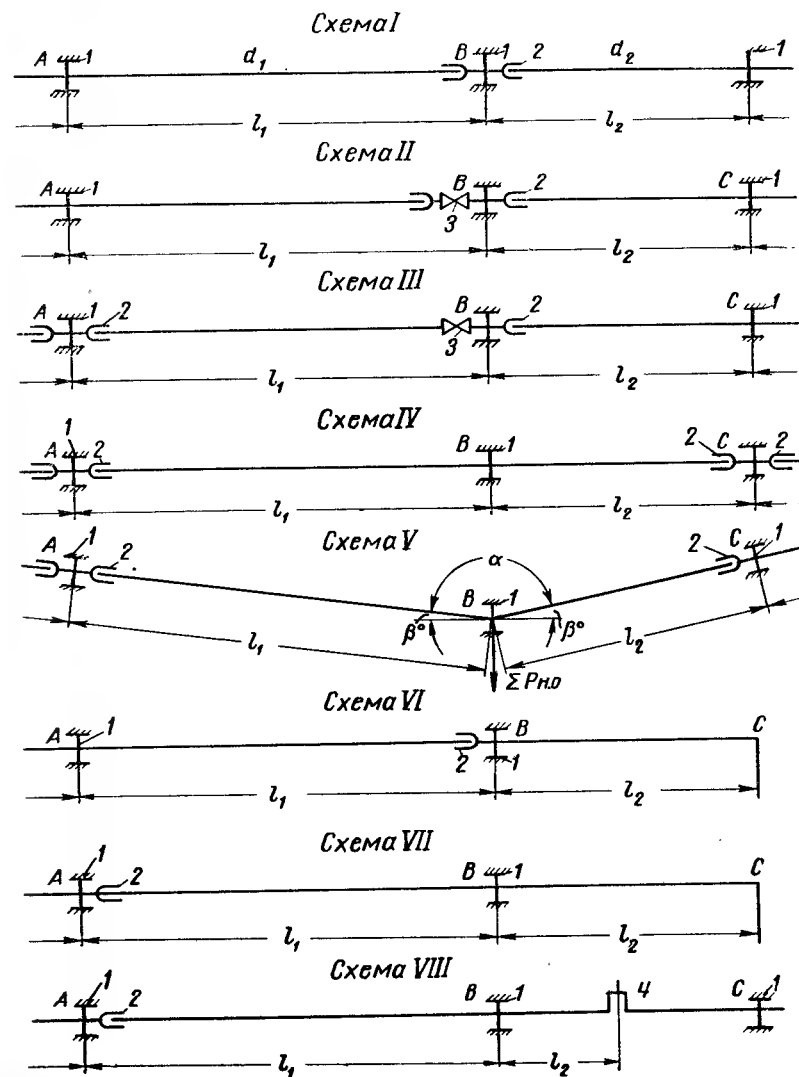


Рис. XI.6. Типовые расчетные схемы компенсации температурных удлинений теплопроводов
1 — неподвижная опора; 2 — сальниковый компенсатор; 3 — задвижка; 4 — П-образный компенсатор

их повреждение приводят только к перераспределению усилий и напряжений в гибких компенсаторах и трубах.

По-другому обстоит дело в трубопроводах с сальниковыми или манжетными компенсаторами. Здесь основной нагрузкой на неподвижные опоры является внутреннее неуравновешенное усилие, которое в трубопроводах больших диаметров имеет очень большую величину. Эти усилия должны быть полностью уравновешены реактивными силами неподвижных опор. Недостаточная прочность неподвижных опор может послужить здесь причиной очень серьезных аварий трубопровода.

В приведенных формулах даны усилия, действующие на опоры и установленные в точках *B*; усилия в точках *A* и *C* определяются по аналогии по тем же формулам. Знаки «+» и «—» соответствуют нагреву и охлаждению труб; l_1 и l_2 — длины большего и меньшего участков.

Схема I:

$$\Sigma P_{н.о} = \pm 0,5 P_K + \frac{P_0 \pi}{4} (d_2^2 - d_1^2). \quad (XI.21)$$

Схема II (при закрытой задвижке; спуск воды на участке l_1):

$$\Sigma P_{н.о} = P_0 \frac{\pi d_2^2}{4} \pm 0,5 P_K. \quad (XI.22)$$

Схема III (при закрытой задвижке; спуск воды на участке l_2):

$$\Sigma P_{н.о} = \frac{P_0 \pi d_1^2}{4} \pm P_K \pm q \mu l_1. \quad (XI.23)$$

Схема IV:

$$\Sigma P_{н.о} = \pm 0,5 P_K + \frac{P_0 \pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) \pm q \mu \left(l_1 - \frac{l_2}{2} \right). \quad (XI.24)$$

Схема V (усилие $\Sigma P_{н.о}$ действует по направлению биссектрисы угла α) для $d_2 \gg d_1$.

$$\Sigma P_{н.о} = \left[\pm 0,5 P_K \pm q \mu \left(l_1 - \frac{l_2}{2} \right) + \frac{P_0 \pi}{4} d_2^2 \right] \sin \beta. \quad (XI.25)$$

Схема VI:

$$\Sigma P_{н.о} = \pm P_K + \frac{P_0 \pi}{4} d_2^2 \pm q \mu l_2. \quad (XI.26)$$

Схемы VII и VIII:

$$\Sigma P_{н.о} = \pm P_K + \frac{P_0 \pi}{4} d_2^2 - q \mu (l_1 + l_2). \quad (XI.27)$$

Здесь $\Sigma P_{н.о}$ — усилие, действующее на неподвижную опору;

P_K — сила трения в сальниках компенсаторов;

P_0 — испытательное давление теплоносителя;

q — суммарный расчетный вес трубопровода;

l_1 и d_1 — длина и диаметр участка *AB*;

l_2 и d_2 — длина и диаметр участка *BC*;

μ — коэффициент трения, равный 0,3 для скользящих опор и $\frac{0,05}{r}$ для катковых опор (r — радиус катка в см).

В рассмотренных схемах I—V сальниковые компенсаторы могут быть заменены гибкими П- или S-образными; при этом в расчетных формулах следует приравнять нулю выражения неуравновешенных усилий $\frac{P_0 \pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$ и $\frac{P_0 \pi}{4} d_2^2$. Силы трения в сальниках P_K следует заменить силой упругого отпора П-образных компенсаторов.

Формулы для схем VI—VIII справедливы только для сальниковых или манжетных компенсаторов.

В многотрубных прокладках при определении суммарного усилия, действующего на опору, необходимо вводить коэффициенты, учитывающие неодновременность действия сил. Величины этих коэффициентов, на основе исследований М. Н. Ручимского, следует принимать:

при двух трубопроводах	1
» трех »	0,67
» четырех и более трубопроводах	0,5

Если усилие от одной из труб превышает 0,67 или 0,5 суммарной силы, рассчитывать неподвижную опору следует на это максимальное усилие.

Примеры расчета усилий, действующих на неподвижные опоры теплопроводов

1. Определить усилие на неподвижную опору *B* по схеме III, приведенной на рис. XI.6, при $d_1 = d_2 = 1120$ мм; $q = 1449$ кг/м; $P_0 = 12$ кг/см²; $P_K = 11\,000$ кг; $l_1 = 150$ м; $r = 5$ см.

Усилие определяется при закрытой задвижке в режиме нагрева [по формуле (XI.23)] при укладке труб:

на скользящих опорах

$$\begin{aligned} \Sigma P_{н.о} &= \frac{12 \cdot 3,14 \cdot 112^2}{4} + 11\,000 + 1449 \cdot 0,3 \cdot 150 = \\ &= 118\,160 + 11\,000 + 65\,250 = 194\,410 \text{ кг} = 194,4 \text{ Т.} \end{aligned}$$

на катковых опорах

$$\begin{aligned} \Sigma P_{н.о} &= \frac{12 \cdot 3,14 \cdot 112^2}{4} + 11\,000 + 1449 \times \\ &\times \frac{0,05}{5} \cdot 150 = 118\,600 + 11\,000 + 2170 = 131\,770 \text{ кг} = 131,7 \text{ Т.} \end{aligned}$$

За счет перехода на катковые опоры удалось уменьшить нагрузку на опору приблизительно на 30%, однако этого недостаточно, чтобы можно было существенно облегчить конструкцию неподвижной опоры.

Радикальное уменьшение усилия и облегчение конструкций опоры возможно только при установке разгруженных сальниковых компенсаторов.

2. При тех же условиях и $l_2 = 10$ м определить усилие на неподвижную опору В по схеме VI, приведенной на рис. XI.6.

По формуле (XI.26) получаем

$$\Sigma P_{н.о} = 11\,000 + \frac{12 \cdot 3,14 \cdot 112^2}{4} - 1449 \cdot 0,3 \cdot 10 = 124\,800 \text{ кг} = 124,8 \text{ Т.}$$

Если увеличить длину участка l_2 в 10 раз ($l_2 = 100$ м), то получим

$$\Sigma P_{н.о} = 11\,000 + \frac{12 \cdot 3,14 \cdot 112^2}{4} - 1449 \cdot 0,3 \cdot 100 = 85\,660 \text{ кг} = 85,6 \text{ Т.}$$

Таким образом, увеличение участка l_2 существенно разгружает опоры. Применение катковых опор вместо скользящих в рассматриваемом случае приведет только к увеличению усилий на неподвижную опору.

7. РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДОВ НА ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ

Потеря устойчивости теплофикационных трубопроводов под действием осевых сил наблюдается редко. Продольный изгиб возможен при выходе из строя компенсационных устройств и «защемлении» трубопровода на участке между двумя неподвижными опорами.

Приводимые ниже расчетные формулы позволяют проверить максимально допускаемую длину участков трубопровода с сальниковыми компенсаторами по условию устойчивости труб. Эти формулы позволяют определить предельный допускаемый перепад температур в обратных трубопроводах, которые в ряде случаев могут быть уложены без установки компенсаторов.

Принципиально искривление оси труб под действием осевых усилий может быть допущено, так как оно не угрожает прочности трубопровода. Недопустим продольный изгиб труб лишь при наличии фланцевых соединений в трубопроводе и в трубопроводах с сальниковыми компенсаторами.

Для расчета трубопровода на продольный изгиб необходимо определить: а) силы трения в опорах (при канальной и надземной прокладке); б) силы реакции компенсирующих устройств. Эти силы определяют действующую осевую нагрузку, которая должна быть меньше критической величины осевого усилия, вызывающего потерю устойчивости.

В трубопроводе, не имеющем компенсационных устройств (или при выходе их из строя), осевая нагрузка от изменения температуры равна

$$P_t = 24 \Delta t F, \quad (\text{XI.28})$$

где Δt — перепад температуры;

F — площадь поперечного сечения стенок трубы.

Внутреннее давление способно вызвать продольный изгиб длинных прямых участков трубопровода с сальниковыми компенсаторами, имеющих хотя бы незначительную начальную кривизну.

Критическая величина внутреннего давления, вызывающего продольный изгиб:

$$P_{кр} = \frac{4\pi EJ}{l^2 d_n^2}. \quad (\text{XI.29})$$

где EJ — жесткость поперечного сечения трубы;

l — свободная длина участка трубопровода;

d_n — внутренний диаметр трубопровода.

Критическое осевое усилие трубы, жестко заделанной в неподвижной опоре и свободно поворачивающейся у компенсатора, для трубопроводов, подвешенных на тягах или уложенных на шариковых опорах, которые не создают сопротивления трения в опорах поперечным перемещениям:

$$P_{кр} = \frac{20,19 EJ}{L^2}, \quad (\text{XI.30})$$

где L — свободная длина участка трубопровода от неподвижной опоры до компенсатора в см.

Для трубопроводов, уложенных на скользящих опорах, формула (XI.30) дает сильно преуменьшенную величину силы $P_{кр}$, так как не учитывает сопротивления опор труб перемещениям в поперечном направлении.

В качестве первого приближения для трубопроводов канальной и воздушной прокладки на скользящих опорах может быть использовано решение акад. А. Н. Динника о продольном изгибе стержня, находящегося в упругой среде.

Критическое усилие в этом случае определяется по формуле

$$P_{кр} = 2 \sqrt{EJk}, \quad (\text{XI.31})$$

где k — эмпирический коэффициент, характеризующий жесткость среды и равный 0,01—0,1.

Если в формулу (XI.31) подставить крайние значения k , то получим следующие величины критических усилий:

Диаметр труб в мм . . .	100	150	200	250	300
Усилия $P_{кр}$ кг:					
при $k=0,01$	3800	7400	13 800	20 000	30 200
» $k=0,1$	12 000	23 200	43 800	64 000	90 000

Для обеспечения нормальной работы трубопроводов с сальниковыми компенсаторами суммарное осевое усилие ΣP должно быть меньше, чем величины $P_{кр}$.

Принимая коэффициент трения скользящих опор $\mu = 0,3$ и задаваясь величиной P_k в пределах от 1000 до 5000 кг, определим осевые усилия в трубопроводах $d_y = 100 \div 300$ мм при длинах участков L , равных 100 и 150 м, по формуле

$$\Sigma P = q_r L + P_k .$$

При длине участка $L = 100$ м осевые усилия равны:

для $d_y = 100$ мм	$\Sigma P = 45 \cdot 0,3 \cdot 100 + 1000 = 2350$ кг
» $d_y = 150$ »	$\Sigma P = 72 \cdot 0,3 \cdot 100 + 2000 = 4160$ »
» $d_y = 200$ »	$\Sigma P = 113 \cdot 0,3 \cdot 100 + 3000 = 6400$ »
» $d_y = 300$ »	$\Sigma P = 204 \cdot 0,3 \cdot 100 + 5000 = 11\ 120$ »

При длине участка $L = 150$ м осевые усилия равны:

для $d_y = 100$ мм	$\Sigma P = 45 \cdot 0,3 \cdot 150 + 1000 = 3020$ кг
» $d_y = 150$ »	$\Sigma P = 72 \cdot 0,3 \cdot 150 + 2000 = 5240$ »
» $d_y = 200$ »	$\Sigma P = 113 \cdot 0,3 \cdot 150 + 3000 = 8100$ »
» $d_y = 300$ »	$\Sigma P = 204 \cdot 0,3 \cdot 150 + 5000 = 14\ 100$ »

Из сравнения величин ΣP с $P_{кр}$ видно, что при нормально работающих сальниковых компенсаторах продольный изгиб возможен только в трубопроводах диаметром 100 мм и менее при длинах участков $L \geq 150$ м. В трубопроводах $d_y = 150 \div 300$ мм потеря устойчивости трубопровода при продольном изгибе возможна только при заедании сальников и возрастании силы P_k приблизительно в 2—3 раза по сравнению с расчетной величиной. Температурный перепад, способный вызвать потерю устойчивости обратных трубопроводов без компенсаторов, можно получить, приравняв выражения температурного усилия по формуле (XII.28) и критической силы по формуле (XI.31). Тогда минимальный температурный перепад, при котором возможен продольный изгиб в процессе нагрева трубопровода:

$$\Delta t_{мин} = \frac{2 \sqrt{EJk}}{24F} . \quad (XI.32)$$

Вычисления по формуле (XI.32) для труб $d_y = 100 \div 300$ мм указывают на то, что изгиб трубопровода наступает: для $k = 0,01$ при $\Delta t = 12 \div 15^\circ$, для $k = 0,1$ при $\Delta t = 39 \div 48^\circ$.

Глава XII

РАСЧЕТ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

1. ВЫВОД РАСЧЕТНЫХ УРАВНЕНИЙ

Бесканальные теплопроводы испытывают при перемещениях труб в осевом и поперечном направлениях сопротивление (реакцию) сил трения грунта.

Первые теоретические и опытные исследования работы бесканальных теплопроводов были организованы Управлением теплосети Ленэнерго в 1951—1952 гг. и проводились с привлечением кафедры теплогазоснабжения Ленинградского инженерно-строительного института на действующих теплосетях Ленинграда.

До настоящего времени единственными опубликованными работами по прочностным расчетам бесканальных теплопроводов являются монография и статья Г. Д. Вишневецкого, который впервые получил зависимости температурных усилий и напряжений в трубах, находящихся в грунтовой среде. При этом грунт рассматривался как линейно-деформируемая изотропная среда.

Следует отметить теоретическую обоснованность и оригинальность метода расчета, предложенного Г. Д. Вишневецким.

Однако использование при проектировании этого метода встречает затруднения, главным образом из-за отсутствия фактических данных, характеризующих упругие свойства грунта.

Разработанный нами метод расчета по определению температурных удлинений и усилий в длинных прямых стержнях, испытывающих сопротивление окружающей среды, основан на следующих допущениях:

1) оба конца участка трубопровода (рис. XII.1,а) свободны и могут перемещаться в осевом направлении;

2) при температурном удлинении трубопровод встречает сопротивление трения грунта p кг/см, распределенное с одинаковой интенсивностью по длине, и сопротивление трения в саль-

никах компенсаторов (или силы упругости П-образных компенсаторов) P_k ;

3) температура по длине трубопровода принимается постоянной. При изменении температуры осевые перемещения трубопровода распространяются от компенсаторов у концов участка к его середине. Перемещающийся участок назовем l_k (рис. XII.1,б).

При $l_k = L$ температурные перемещения распространяются на всю длину трубопровода между компенсаторами (рис. XII.1,в).

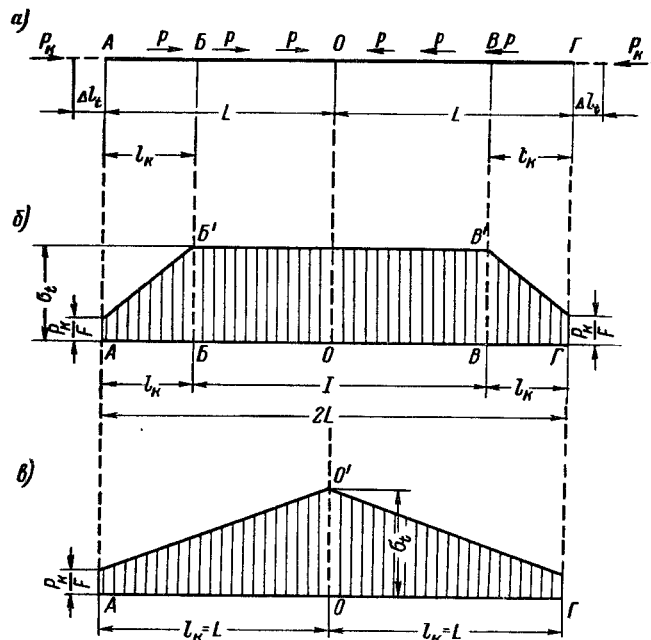


Рис. XII.1. Схема распределения усилий и эпюры температурных напряжений в бесканальном теплопроводе

а — расчетная схема участка теплопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t < \Delta t_{пр}$; в — эпюра напряжений при $\Delta t > \Delta t_{пр}$; l — неподвижно зажатый участок

Температурный перепад Δt , при котором $l_k = L$, назовем «предельным» перепадом $\Delta t_{пр}$.

Приведенные на рис. XII.1,а и б эпюры напряжений соответствуют двум состояниям трубопровода: первая — при $\Delta t < \Delta t_{пр}$, вторая — при $\Delta t \geq \Delta t_{пр}$.

В средней части трубопровода (участок BB на рис. XII.1,б), которая осталась неподвижной вследствие заземления грунтом, температурные напряжения равны

$$\sigma_t = \alpha E \Delta t = 24 \Delta t \quad (\text{XII.1})$$

(при температурах не более $200-250^\circ\text{C}$).

В точках B и B напряжения от сил трения и изменения температуры равны между собой, поэтому

$$\sigma_t = 24 \Delta t = \frac{p l_k}{F} \quad (\text{XII.2})$$

При $l_k = L$ (см. рис. XII.1,в) для сечения в точке O

$$\sigma_t = 24 \Delta t_{пр} = \frac{pL}{F}, \quad (\text{XII.3})$$

откуда

$$\Delta t_{пр} = \frac{pL}{24F}, \quad (\text{XII.3a})$$

где F — площадь поперечного сечения трубы в см^2 .

Сила трения p , отнесенная к единице длины трубы, равна

$$p = \frac{24 \Delta t_{пр} F}{L}. \quad (\text{XII.4})$$

Таким образом, для расчета достаточно определить из опыта только интенсивность сил трения p .

Как только l_k станет равной L , суммарная сила трения в точке O будет иметь максимальную величину pL . Значит увеличение перепада температуры больше предельного, определяемого уравнением (XII.3), не приводит к увеличению усилий и напряжений в трубах, если их концы сохраняют свободу перемещений.

Отсюда следует, что при превышении $\Delta t_{пр}$ дальнейшие перемещения концов происходят пропорционально перепаду температур Δt .

Трубопроводы с неподвижно опертыми или заделанными концами испытывают значительно большие температурные напряжения. Напряжения в них непрерывно возрастают по мере увеличения Δt , если, конечно, не наступит потеря устойчивости от продольного изгиба.

Определим перемещение конца A трубопровода при $P_k = 0$ (рис. XII.2). Элементарное перемещение конца отрезка длиной dx , находящегося на расстоянии x от свободного конца:

$$d\delta = \frac{\sigma_x dx}{E}.$$

Перемещение конца A трубопровода представляет собой сумму элементарных перемещений $d\delta$ на длине l_k , поэтому можно написать

$$\delta_A = \int_0^{l_k} \frac{\sigma_x dx}{E} = \frac{\sigma_t l_k}{2E}. \quad (\text{XII.5})$$

Подставляя в уравнение (XII.5) вместо σ_t его значение из выражения (XII.2), получим

$$\delta_A = \frac{\rho l_k^2}{2EF}. \quad (\text{XII.6})$$

Формула (XII.6) справедлива только при $l_k \leq L$.

Приведенные выше уравнения позволяют найти перемещающуюся длину трубопровода:

$$l_k = \frac{24 \Delta t F}{\rho} \quad (\text{XII.7})$$

или

$$l_k = \frac{\delta_A E}{12 \Delta t}. \quad (\text{XII.8})$$

Для предельного состояния эти уравнения записываются так:

$$L = \frac{24 \Delta t_{\text{пр}} F}{\rho} \quad (\text{XII.9})$$

или

$$L = \frac{\delta_{\text{Апр}} E}{12 \Delta t_{\text{пр}}}. \quad (\text{XII.10})$$

Из уравнения (XII.5) следует, что в предельном состоянии, когда $l_k = L$, для трубопроводов, окруженных грунтом, удлинение равно

$$\delta_{\text{Апр}} = \frac{\sigma_t L}{2E} = \frac{\alpha \Delta t_{\text{пр}} L}{2}, \quad (\text{XII.11})$$

а для «свободных» трубопроводов такой же длины, уложенных на опорах без трения при одинаковом температурном перепаде:

$$\delta'_{\text{Апр}} = \alpha \Delta t_{\text{пр}} L. \quad (\text{XII.12})$$

Следовательно, температурные удлинения трубопроводов, окруженных грунтом при $\Delta t = \Delta t_{\text{пр}}$, составляют 50% величин удлинений свободных трубопроводов такой же длины.

Этим объясняется «недокомпенсация» температурных удлинений бесканальных теплопроводов, которая почти всегда наблюдается в практике их эксплуатации и при испытаниях.

На рис. XII.3, а приведены две зависимости перемещений концов трубопровода от изменения его температуры: одна из них — для свободного трубопровода, не встречающего сопротивления сил трения; вторая — для трубопровода, окруженного грунтом.

В первом случае перемещения пропорциональны Δt , и зависимость представляет собой прямую OD_2 ; во втором зависимость выражается в виде кривой OCC_2 .

Зависимость OCC_2 в точке C , характеризующейся $\Delta t = \Delta t_{\text{пр}}$, переходит в прямую линию. Так как при $\Delta t > \Delta t_{\text{пр}}$ температурные перемещения пропорциональны Δt , то прямая CC_2 параллельна прямой OD_2 .

Из уравнений (XII.11) и (XII.12) следует, что при $\Delta t = \Delta t_{\text{пр}}$ отрезок BC равен половине отрезка BD .

На рис. XII.3, б представлена зависимость температурного напряжения в трубопроводе, уложенном в грунте, от Δt .

В точке B , которая соответствует $\Delta t_{\text{пр}}$, напряжения достигают максимально возможной величины, определяемой формулой (XII.3). В дальнейшем они остаются постоянными и не зависят от Δt .

На основании изложенного можно сформулировать положения, являющиеся основой расчета длинных прямых участков бесканальных теплопроводов, при их температурном удлинении или укорочении.

1. В начальном периоде нагрева или охлаждения температурные перемещения возникают только на длине l_k , которая непосредственно примыкает к свободным концам, т. е. к компенсаторам.

2. С увеличением температурного перепада перемещения распространяются к середине участка трубопровода до тех пор, пока l_k станет равной половине длины участка. Температурный перепад, при котором это произойдет, назван «предельным».

3. Увеличение $\Delta t > \Delta t_{\text{пр}}$ не вызывает дальнейшего возрастания температурных напряжений в трубопроводе, если его концы остаются свободными.

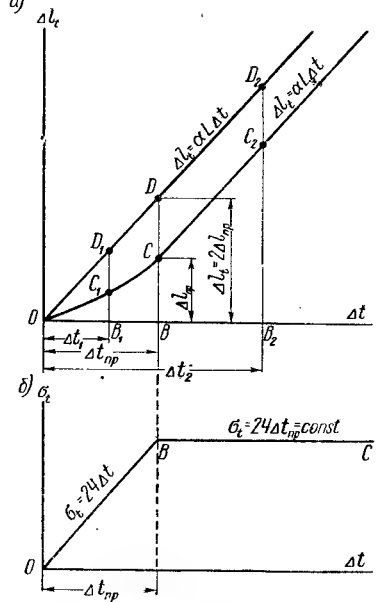


Рис. XII.3. Зависимости перемещений концов трубопроводов и температурных напряжений от температурного перепада Δt

4. Температурные удлинения трубопроводов в среде с трением составляют 50% удлинения свободных трубопроводов такой же длины при условии $\Delta t = \Delta t_{\text{пр}}$. Однако недокомпенсация температурных удлинений уменьшается, как это следует из графика (см. рис. XII.3,а), по мере увеличения значения Δt .

В начальном периоде нагрева труб, когда $\Delta t_1 < \Delta t_{\text{пр}}$ (см. рис. XII.3,а), недокомпенсация больше, так как отношение $\frac{B_1 C_1}{B_1 D_1} < 0,5$, т. е. меньше 50%. С увеличением нагрева, например при $\Delta t_2 = 2\Delta t_{\text{пр}} : \frac{B_2 C_2}{B_2 D_2} \approx 0,7$.

Для $\Delta t = 3\Delta t_{\text{пр}}$ это отношение увеличивается еще больше и достигает величин порядка 0,83—0,85. Следовательно, степень недокомпенсации при этом значительно уменьшается. Отсюда следует, что коэффициент недокомпенсации не пригоден в качестве критерия, характеризующего степень защемления труб грунтом. Измеряя Δt при малых величинах Δt , получим преувеличенную недокомпенсацию, а при больших значениях Δt , наоборот, преуменьшенную.

5. Правильную и исчерпывающую характеристику, определяющую воздействие грунтовой среды на температурные деформации бесканальных теплопроводов, позволяет получить величина интенсивности сил трения грунта p .

Уравнения (XII.1)—(XII.12) получены для участков трубопровода с двумя свободными концами, идентичных прямым участкам трубопровода с компенсаторами, установленными на концах. Такие схемы наиболее распространены на практике, в существующих тепловых сетях они известны под названием «разгруженных» схем.

Пользуясь уравнением (XII.4), можно определить величину p , если опытным путем получено значение $\Delta t_{\text{пр}}$ и известна длина участка между компенсаторами.

Схемы реальных теплопроводов лишь незначительно отличаются от рассмотренной выше расчетной схемы. Основными отличиями являются: неподвижные закрепления в ряде точек по длине трубопровода и силы трения в сальниках компенсаторов, препятствующие перемещениям труб. Когда неподвижные опоры установлены в середине участка трубопровода, имеющего на концах компенсаторы, реальный трубопровод и его расчетная схема становятся идентичными, так как середина участка трубопровода остается неподвижной независимо от того, закреплена ли она или нет.

В связи с этим в ряде случаев можно отказаться от установки неподвижных опор в середине между компенсаторами на длинных прямых участках бесканальных теплопроводов.

Если неподвижная опора установлена на трубопроводе несимметрично по отношению к компенсаторам, то его расчетная схема будет отличаться от схемы с двумя свободными концами.

Значения l_k и $\Delta t_{\text{пр}}$ в расчетных уравнениях потребуют некоторой корректировки.

Установка гибких, например П-образных компенсаторов, которые реже используются в бесканальных теплосетях, не вносит больших изменений в распределение напряжений и поэтому отдельно не рассматривается.

2. РАСЧЕТ ПОДЗЕМНЫХ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ И КОМПЕНСАЦИЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УДЛИНЕНИЙ

Характер распределения температурных напряжений в трубах с компенсаторами и жесткими не смещаемыми фиксировавшими нагляднее всего можно представить графически.

На рис. XII.4 и XII.5 показано распределение напряжений вдоль трубопровода, типичное для ленинградских бесканальных теплопроводов с армопенобетонной теплоизоляционной оболочкой цилиндрической формы, которая перемещается в окружающем грунте совместно с трубой.

На обоих эпюрах показано распределение напряжений (сжатия при нагреве и растяжения при охлаждении), вызванных действием сил трения p при перемещающейся длине l_k , равной расстоянию между неподвижными опорами.

Трение в сальниках компенсаторов создает некоторое противодействие перемещениям труб. В эпюрах напряжений это учтено начальным напряжением

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F}.$$

На основе опытов по определению сил трения в сальниковых компенсаторах могут быть приняты следующие величины напряжений σ_k :

для компенсаторов	$d_y = 125 \div 200$ мм	...	100 кг/см ²
»	$d_y = 200 \div 1200$ »	...	50 »

Эти величины относятся к нормально работающим компенсаторам, не имеющим перекосов в сальниках. При перекосах возможно заедание компенсатора и очень большое увеличение силы P_k , что является одним из главных недостатков сальниковых компенсаторов. Максимальные температурные напряжения, как правило, расположены в сечениях у неподвижных опор.

Из уравнения (XII.3) следует, что температурные напряжения в трубах прямо пропорциональны силам трения p , длине L и обратно пропорциональны площади F . Поэтому, устанавливая компенсаторы на более близком расстоянии друг от друга, можно уменьшить температурные напряжения в трубах. В бесканальных трубопроводах компенсаторы не в состоянии разгрузить трубы от действия температурных усилий в той степени,

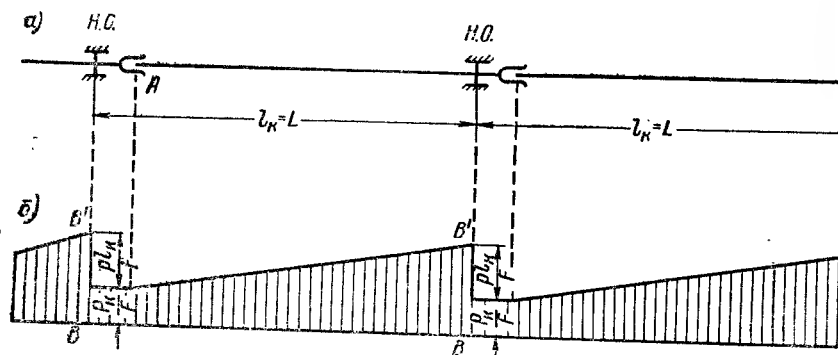


Рис. XII.4. Напряжения в бесканальном теплопроводе с односторонними сальниковыми компенсаторами
а — расчетная схема трубопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t > \Delta t_{пр}$ и $l_k = L$

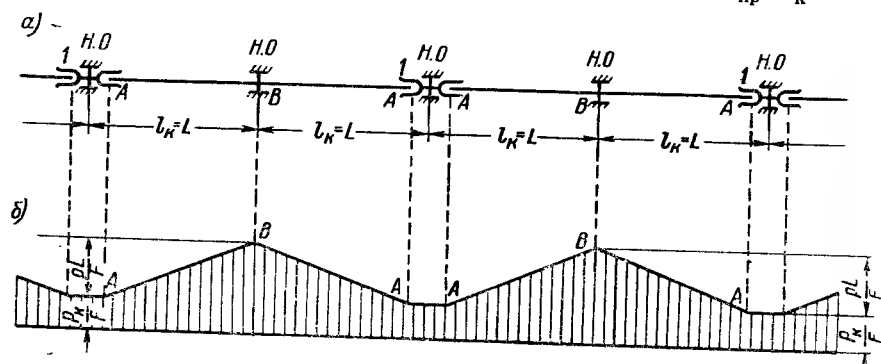


Рис. XII.5. Напряжения в бесканальном теплопроводе с двухсторонними сальниковыми компенсаторами
а — расчетная схема трубопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t > \Delta t_{пр}$ и $l_k = L$; I — двухсторонние сальниковые компенсаторы

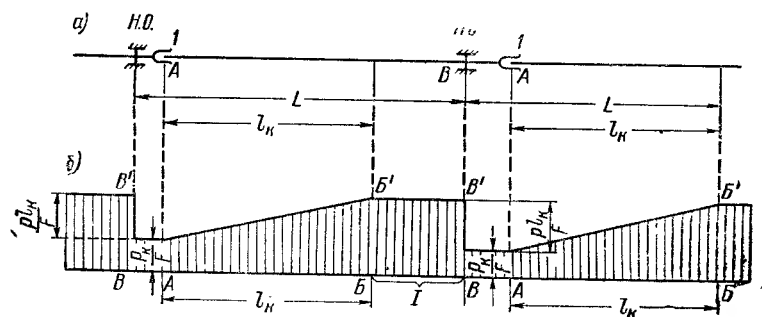


Рис. XII.6. Напряжения в частично зажатом бесканальном теплопроводе с односторонними компенсаторами
а — расчетная схема трубопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t < \Delta t_{пр}$ и $l_k < L$; I — неподвижно зажатый участок; I — компенсаторы

в какой это достижимо в трубопроводах, проложенных на эстакадах или в туннелях и не подверженных действию больших сил трения.

Напряжение на прямых участках бесканальных теплопроводов, как это следует из эпюр напряжений (см. рис. XII.4 и XII.5), складывается из напряжений от сил трения в сальниках компенсаторов (или реакции гибких компенсаторов) и сил трения, действующих непосредственно на трубопровод. Осевые растягивающие напряжения от внутреннего давления в трубопроводах с сальниковыми компенсаторами равны нулю. Поэтому суммарные напряжения в бесканальном трубопроводе

$$\sigma = \frac{P_k}{F} + \frac{pL}{F}. \quad (\text{XII.13})$$

Соответствующим выбором длины участка L напряжение σ может быть снижено до заданной величины.

Рассмотрим распределение напряжений от сил трения в частично зажатом трубопроводе, когда температурные перемещения проявили себя только на части длины, т. е. когда $l_k < L$. Эти случаи представлены на рис. XII.6 и XII.7. Трубопровод между точками Б и В (рис. XII.6) и Б и Б (рис. XII.7) остается неподвижным вследствие зажатия грунтом. На этих участках напряжения сжатия или растяжения определяются по формуле

$$\sigma_t = 24 \Delta t,$$

которая справедлива при $\Delta t \leq \Delta t_{пр}$.

Неподвижность отдельных участков бесканальных теплопроводов, наиболее удаленных от компенсаторов, как показывают испытания, наблюдается не только в период недостаточного прогрева труб, т. е. при малых Δt , но возможна и при перепадах температур, близких к максимальным расчетным, на тех участках трассы (например, с большим заглублением труб), где интенсивность сил трения p имеет большую величину. Однако максимальной величины напряжения достигают при $l_k = L$. Следовательно, рис. XII.4 и XII.5 характеризуют расчетный режим компенсации, а рис. XII.6 и XII.7 — температурный режим в период пуска или выключения нагрева.

Несколько по-другому распределяются напряжения в трубопроводе при схеме компенсации, предложенной Ленинградским филиалом института Теплоэлектропроект (рис. XII.8) и получившей широкое практическое применение в Ленинграде.

Компенсаторы одностороннего типа здесь устанавливаются в середине участка между неподвижными опорами и не имеют закреплений, поэтому стакан и корпус могут перемещаться

навстречу друг другу вместе с удлиняющимся трубопроводом. Такая схема установки получила название схемы с «плавающими» компенсаторами. В ее преимуществе легко убедиться, сравнивая рис. XII.4 и рис. XII.8.

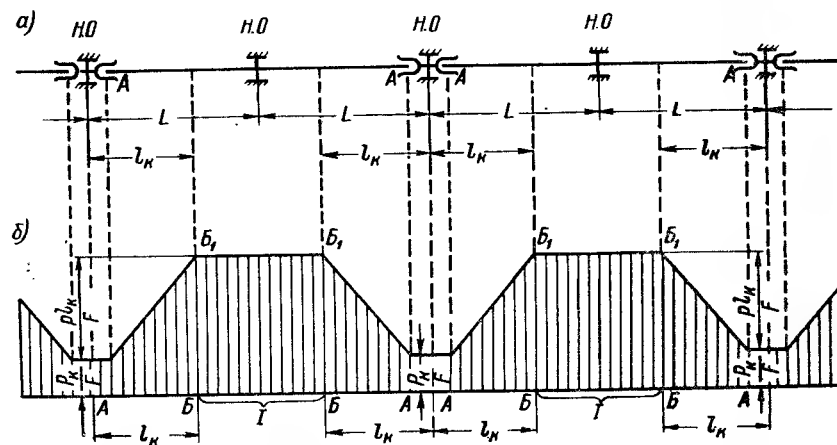


Рис. XII.7. Напряжения в частично зажатом бесканальном теплопроводе с двухсторонними компенсаторами
а — расчетная схема трубопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t < \Delta t_{пр}$ и $l_k < L$;
I — неподвижно зажатый участок

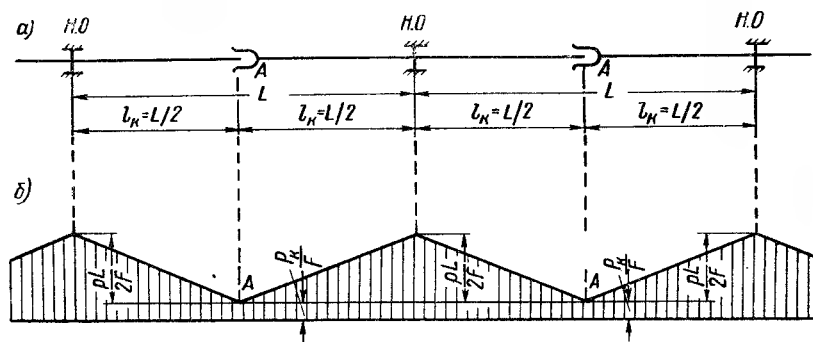


Рис. XII.8. Напряжения в бесканальном теплопроводе с плавающими компенсаторами при равных длинах участков
а — расчетная схема трубопровода; б — эпюра напряжений при $\Delta t > \Delta t_{пр}$ и $l_k = L/2$

Максимальные напряжения в трубопроводе от сил трения (без учета сил трения в компенсаторах) при схеме компенсации с плавающими компенсаторами равны

$$\sigma_t = \frac{pL}{2F}.$$

При обычной установке компенсаторов (см. рис. XII.4)

$$\sigma_t = \frac{pL}{F},$$

т. е. будут в 2 раза больше.

Поэтому схема с плавающими компенсаторами более экономична, так как позволяет в 2 раза увеличить длину участков и, следовательно, поставить меньшее число компенсаторов.

На рис. XII.9 приведена эпюра напряжений для случая установки плавающих компенсаторов на участках с неравной длиной $L_1 > L_2$ при $l_k > L_2/2$

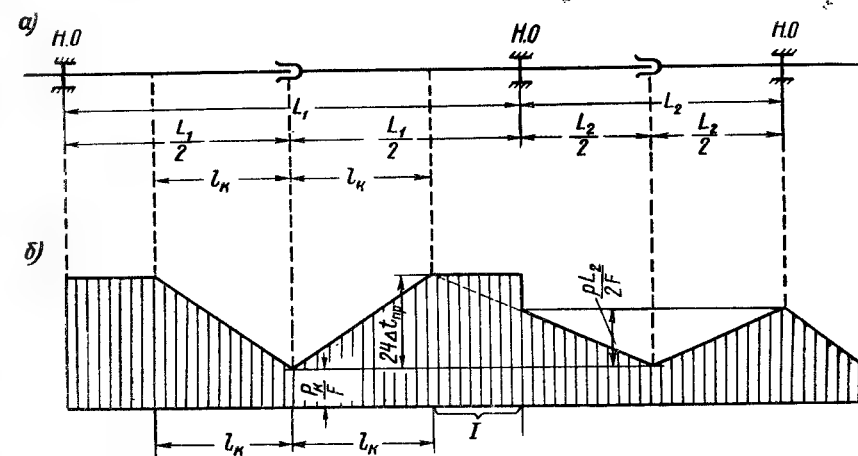


Рис. XII.9. Напряжения в бесканальном теплопроводе с плавающими компенсаторами при неравных длинах участков
а — расчетная схема трубопроводов; б — эпюра напряжений; I — неподвижно зажатый участок

Наибольшие напряжения от сил трения на участке L_2

$$\sigma_t = \frac{pL_2}{2F}.$$

На участке L_1 напряжения меньше максимального, так как $l_k < \frac{L_1}{2}$. Очевидно, по мере увеличения значения Δt напряжения на участке L_1 будут увеличиваться и могут достигнуть максимальной величины:

$$\sigma_t = \frac{pL_1}{2F}.$$

Из эпюр напряжений, приведенных на рис. XII.9, следует

также, что на неподвижную опору будет передано неуравновешенное усилие P_t , равное разности двух усилий:

$$P_t = \frac{pL_1}{2} - \frac{pL_2}{2} = \frac{p}{2} (L_1 - L_2). \quad (\text{XII.14})$$

При отсутствии возможности по местным условиям установки неподвижной опоры в середине участка возможно отказаться от неподвижного закрепления трубопровода вообще. При этом напряжения в трубах уменьшатся, а следовательно, улучшатся условия их эксплуатационной работы (конечно, нельзя этого допускать, если в пределах участка расположена запорная задвижка, которая может быть закрыта).

Полученные расчетные уравнения и эпюры напряжений позволяют весьма просто выбирать максимально допускаемые длины компенсируемых участков.

Пример расчета подземных бесканальных теплопроводов на прочность и компенсацию температурных удлинений

Для теплопровода диаметром 500 мм интенсивность сил трения $p = 21,5 \text{ кг/см}$; расчетное сопротивление сварного шва на сжатие $R_{св} = 2100 \text{ кг/см}^2$ и растяжение $R_{р}^{св} = 1800 \text{ кг/см}^2$; коэффициент условий работы сварного соединения $m = 0,8$, сила трения в сальниках компенсаторов $P_{к} = 4000 \text{ кг}$.

Расчетная максимальная температура теплоносителя $t_{\text{макс}} = 150^\circ\text{C}$; температура труб во время монтажа $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

Температура труб в грунте на глубине 1—1,5 м при аварийном выключении (зимой) $t_2 = -2^\circ\text{C}$.

Схема компенсации принята по рис. XII.4.

Максимальная длина компенсируемого участка по преобразованному уравнению (XII.13)

$$L = \frac{N_t - P_{к}}{p}, \quad (\text{XII.15})$$

где N_t — предельно допускаемое усилие сжатия на сварной шов, определяемое по формуле

$$N_t = \sigma F = m R_{св} \pi (d_{ш} - 1) \delta, \quad (\text{XII.16})$$

где δ — толщина сварного шва, равная 0,7 см.

После подстановки заданных величин в уравнение (XII.15) получим:

$$L = \frac{0,8 \cdot 2100 \cdot 3,14 (52,9 - 1) 0,7 - 4000}{21,5} = 8700 \text{ см} = 87 \text{ м}.$$

Напряжения от внутреннего давления теплоносителя в примере не учитываются. Они должны учитываться из сжимающих температурных напряжений.

Для схемы с плавающими компенсаторами (см. рис. XII.8) длина участка может быть увеличена в 2 раза и принята равной

$$2L = 2 \cdot 87 = 174 \text{ м}.$$

Например, в Ленинграде сооружен и эксплуатируется теплопровод диаметром 800 мм, на котором максимальная длина участков (с двухсторонними компенсаторами) достигает 85—90 м.

По уравнению (XII.3а) для $l_{к} = L = 8700 \text{ см}$ предельный температурный перепад равен

$$\Delta t_{пр} = \frac{21,5 \cdot 8700}{24 \cdot 116} = 67,5^\circ\text{C},$$

т. е. меньше расчетного перепада температур при нагреве труб, равного $\Delta t = 130^\circ$, и значительно больше перепада температур в режиме охлаждения, равного $\Delta t = 20 - (-2) = 22^\circ$.

Значит при нагреве до $t_{\text{макс}} = 150^\circ\text{C}$ температурные перемещения происходят на всей длине расчетного участка L , так как выполнено условие $\Delta t > \Delta t_{пр}$, а в режиме охлаждения до -2°C температурные перемещения трубопровода происходят лишь на части длины. Следовательно, суммарная сила трения и напряжения, ею вызванные, будут больше при нагреве, чем при охлаждении.

По уравнению (XII.7) при $\Delta t = 22^\circ$ перемещающаяся длина равна

$$l_{к} = \frac{24 \cdot 22 \cdot 116}{21,5} = 2860 \text{ см} = 28,6 \text{ м}.$$

Следовательно, температурные перемещения труб при их охлаждении от 20 до -2°C происходят приблизительно на $1/3$ длины участка L . Остальная часть трубопровода остается неподвижной вследствие зажатия труб грунтом.

Температурные напряжения равны: растяжения (при охлаждении)

$$\sigma_t = 24 \Delta t = 24 \cdot 22 = 528 \text{ кг/см}^2;$$

сжатия (при нагреве)

$$\sigma_t = \frac{pL + P_{к}}{\pi d_{ср} \delta} = \frac{21,5 \cdot 8700 + 4000}{3,14 \cdot 51,9 \cdot 0,7} = 1660 \text{ кг/см}^2.$$

3. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

При проектировании может встретиться необходимость найти перемещения трубопровода не только у компенсатора, но и в произвольной точке, удаленной на расстояние l_x от него.

Для решения этой задачи необходимо в уравнении (XII.5) верхний предел интегрирования принять равным $l_{к} - l_x$. Тогда используя выражение (XII.6),

$$\delta_A = \int_0^{l_{к} - l_x} \frac{\sigma_x dx}{E} = \frac{(l_{к} - l_x)^2 p}{2EF}. \quad (\text{XII.17})$$

Пример расчета теплопроводов на температурные перемещения

На рис. XII.10 приведен график температурных перемещений по длине бесканального трубопровода. Исходные данные: длина участка трубопровода 8500 см; диаметр трубопровода $d_y = 250 \text{ мм}$; интенсивность сил трения $p = 15 \text{ кг/см}$; предельный перепад температур при нагреве $\Delta t_{пр} = 70^\circ$.

$$\delta_A = \frac{\alpha \Delta t L}{2} = \frac{0,000012 \cdot 70 \cdot 8500}{2} = 3,55 \text{ см.}$$

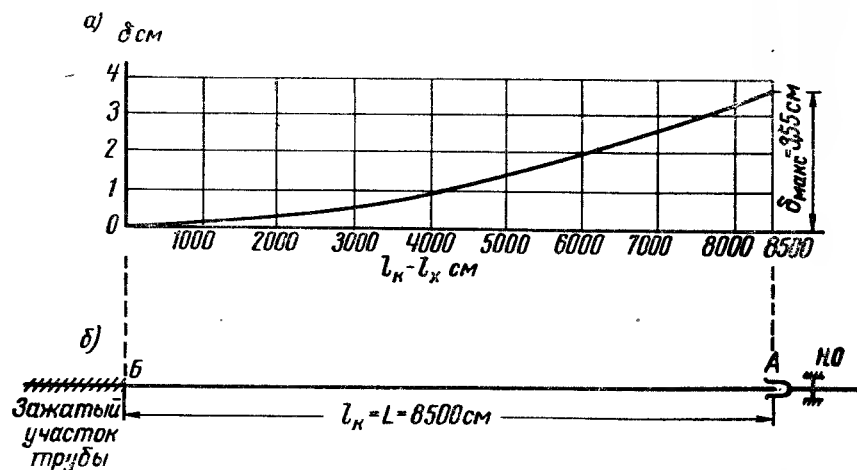


Рис. XII.10. Распределение температурных перемещений по длине трубопровода

а — график температурных перемещений; б — расчетная схема участка

Перемещения сечений трубы, расположенных, например, на расстоянии 20—30 м от неподвижного сечения (точки Б), согласно рис. XII.10, имеют весьма малую величину, составляющую 14—15% максимального значения макс. Ближе к свободному концу (к точке А) перемещения быстро возрастают.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ТРУБ

Интенсивность сил трения при перемещениях труб в осевом направлении исследовалась неоднократно. Опыты по определению сопротивления грунта при поперечных перемещениях труб еще не проводились, поэтому по аналогии с исследованиями компенсации температурных удлинений рельсовых путей условно примем

$$q = \frac{p}{2} \text{ кг/см.}$$

В табл. XII.1 и XII.2 приведены значения p и q , соответствующие грунтам средней плотности, при заглублении труб на 1,2—1,5 м от поверхности. Для свеженасыпных, несслежавшихся грунтов табличные величины следует уменьшать в 2 раза.

Таблица XII.1

Расчетные интенсивности сил трения грунта для изолированных подающих теплопроводов

Условный диаметр трубопровода в мм	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
Диаметр трубы с изоляцией в мм	250	300	350	430	480	550	600	740	840	940	1040	1140	1240
Интенсивность сил трения p в кг/см	6,7	8	10	12	14	16,5	18,5	21,5	25	26	32	34	36
Интенсивность сил трения q в кг/см	3,3	4	5	6	7	8,2	9,2	10,7	12,5	13	16	17	18

Таблица XII.2

Расчетные интенсивности сил трения грунта для обратных теплопроводов без тепловой изоляции

Условный диаметр трубопровода в мм	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
Диаметр трубы с защитным слоем в мм . .	130	180	230	280	340	390	450	550	640	760	860	960	1060
Интенсивность сил трения p в кг/см	3,5	5	6,5	8	10	11,5	13,5	15	19	22	26	28	30
Интенсивность сил трения q в кг/см	1,7	2,5	3,2	4	5	5,7	6,7	7,5	9,5	11	13	14	15

Сравним величины p с результатами опытов на других (не теплофикационных) трубопроводах.

Опубликованы результаты ряда опытов по измерению сил трения труб о грунт в процессе их проталкивания при помощи домкратов. Эти опыты проводились с трубами $d_y = 250$ мм при заглублении 1,5 м. Исследовалось также влияние характера

грунта. Было установлено, что наименьшее трение наблюдается при засыпке траншей мелкозернистым песком, наибольшее — в плотных глинах.

Интенсивность сил трения p в этих опытах получена следующая.

Вид грунта	Объемный вес грунта в кг/м^3	Интенсивность сил трения p в кг/см
Пески мелкозернистые	1900	7,2
Суглинки:		
средней плотности	1900	9,3
плотные	2000	10,8
Глины:		
средней плотности	1950	13,4
плотные	2050	19,5

Значения p для трубопроводов других диаметров, отличных от $d_y=250$ мм, с которым проводились опыты, можно получать, пользуясь приведенными данными, увеличивая или уменьшая их пропорционально отношению $d_y/250$.

Заметим, что результаты опытов для мелкозернистых песков и суглинков средней плотности очень хорошо совпадают с величинами p , указанными в табл. XII.1.

5. РАСЧЕТ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ НА ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ С УЧЕТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО ГРУНТА

Исследование продольного изгиба трубопроводов представляет большой интерес для проверки работы обратных труб бесканальных тепловых сетей при их укладке без компенсаторов.

Для расчета температурных усилий и напряжений в бесканальных трубопроводах необходимо знать погонные силы трения грунта p при передвижении труб в осевом направлении. Для расчетов бескомпенсаторных обратных трубопроводов на продольный изгиб также необходима эта величина и, кроме того, величина q — интенсивность сил трения при перемещении труб в поперечном направлении.

Для расчетов устойчивости бесканальных трубопроводов принята расчетная схема, представленная на рис. XII.11 и используемая при расчетах бесстыковых рельсовых путей.

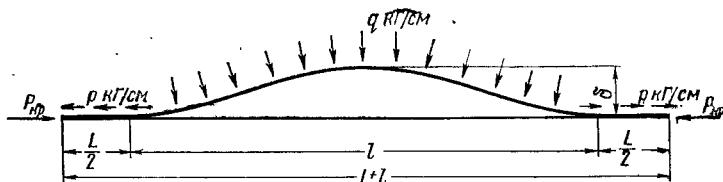


Рис. XII.11. Схема продольного изгиба бесканального трубопровода с учетом сопротивления окружающего грунта

Критическое осевое усилие сжатия, способное вызвать продольный изгиб трубы, находящейся в слое грунтовой засыпки, может быть определено подбором величины $P_{кр}$ путем подстановки в следующие уравнения, предложенные проф. К. Н. Мищенко:

$$P_{кр} = \frac{2,4}{4-n} \sqrt[4]{E^2 J F q^2}, \quad (\text{XII.18})$$

$$l = 19,2 \sqrt{\frac{EJ}{P_{кр}}}, \quad (\text{XII.19})$$

$$n = 1 + \frac{P_{кр}}{4ql}, \quad (\text{XII.20})$$

где l — длина хорды изогнутой оси трубопровода (рис. XII.11).

Остальные обозначения — по предыдущему.

Величина поперечного перемещения трубопровода вычисляется по формуле

$$\delta = 2,88 \sqrt{\frac{nJ}{F}} \text{ см}, \quad (\text{XII.21})$$

где F — площадь поперечного сечения трубы в см^2 ;

J — момент инерции трубы в см^4 .

Температурное удлинение вычисляется по приближенной формуле

$$\Delta l_t = l' - l = 2,768 \frac{\delta^2}{2}, \quad (\text{XII.22})$$

где l' — длина изогнутой оси трубопровода.

Пример расчета бесканального теплопровода на устойчивость при продольном изгибе

Определим критическую нагрузку для бесканального трубопровода, уложенного в грунт (см. рис. XII.11), при следующих данных: $d=250$ мм; $J=6500$ см^4 ; $F=74$ см^2 ; $p=8$ кг/см ; $q=4$ кг/см ; $E=2,1 \cdot 10^6$ кг/см^2

Задаемся значением $n=1,8$; при этом в первом приближении величина $P_{кр}$ по уравнению (XII.18) равна

$$P_{кр} = \frac{2,4}{4-1,8} \sqrt[4]{(2,1 \cdot 10^6)^2 6500 \cdot 74 \cdot 4^2} = 159\,000 \text{ кг}.$$

Длина хорды изогнутой оси трубы по уравнению (XII.19)

$$l = 19,2 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 6500}{159\,000}} = 5600 \text{ см}.$$

Проверяем правильность заданной величины n путем подстановки вычисленных значений $P_{кр}$ и l в уравнение (XII.20):

$$n = 1 + \frac{159\,000}{4 \cdot 4 \cdot 5600} = 2,8.$$

Следовательно, более точные значения:
критического усилия

$$P_{кр} = \frac{2,4}{\sqrt[4]{2,8}} \sqrt[4]{(2,1 \cdot 10^6)^2 6500 \cdot 74 \cdot 4^2} = 144\,000 \text{ кг};$$

длины хорды изогнутой оси трубопровода

$$l = 19,2 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 6500}{144\,000}} = 5850 \text{ см.}$$

При нормально работающих компенсаторах осевое усилие в трубах диаметром 250—300 мм не превышает 60 000—70 000 кг; следовательно, продольный изгиб не может произойти.

Определим, до какой температуры должны быть нагреты трубы, чтобы температурное усилие было способно вызвать продольный изгиб зажатого трубопровода.

Если в уравнении $P_t = 24 \Delta t F$ приравнять P_t критическому усилию, то минимальный перепад температуры, способный вызвать продольный изгиб:

$$\Delta t = \frac{144\,000}{24 \cdot 74} = 81^\circ.$$

Определим критическую нагрузку в предположении, что трубопровод окружен свежесасыпанным неуплотненным грунтом, имеющим малое сопротивление трения ($q=2 \text{ кг/см}$).

Критическое усилие $P_{кр}$ будет

$$P_{кр} = \frac{2,4}{\sqrt[4]{4,07}} \sqrt[4]{(2,1 \cdot 10^6)^2 6500 \cdot 74 \cdot 2^2} = 91\,260 \text{ кг},$$

а длина хорды изогнутой оси трубопровода

$$l = 19,2 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 6500}{91\,260}} = 7438 \text{ см.}$$

Следовательно, критическое усилие уменьшилось приблизительно в 2 раза; продольный изгиб в данном случае произойдет при меньшем нагреве труб, равном

$$\Delta t = \frac{91\,260}{24 \cdot 74} = 51^\circ.$$

В табл. XII.3 приведены величины критических сил и перепадов температуры для бесканальных теплопроводов при различных значениях интенсивностей сил трения.

Продольный изгиб бесканальных теплопроводов в значительной мере нейтрализуется сопротивлением окружающего грунта, которое повышает устойчивость трубопровода, сжатого под действием температурных усилий при нагреве. Продольный изгиб обратных трубопроводов $d_y = 100 \div 300 \text{ мм}$ в случае их укладки в грунте без компенсаторов может наступить лишь в грунтах слабой плотности ($q=2 \text{ кг/см}$) при разности температур (монтажа и нагрева во время эксплуатации) не менее 50° . Трубы диаметром более 300 мм по условию устойчивости допускают нагрев на $\Delta t = 86 \div 90^\circ$, который является уже предель-

ным по условию прочности сварных стыков (для труб, зажатых в грунте). По условию эксплуатации обратных трубопроводов такая высокая температура недопустима.

Высокая прочность сварных швов, достигнутая в настоящее время благодаря усовершенствованию технологии сварки труб электродами со специальными покрытиями, позволяет отказаться от установки компенсаторов на обратных трубопроводах в бесканальных теплосетях, для которых напряжения сжатия не превышают 1600 кг/см^2 .

Таблица XII.3

Значения критических сил и перепадов температур
для бесканальных трубопроводов

Условный диаметр трубопровода d_y в мм	$q=2 \text{ кг/см}$		$q=4 \text{ кг/см}$		$q=5 \text{ кг/см}$	
	$P_{кр}$ в кг	Δt°	$P_{кр}$ в кг	Δt°	$P_{кр}$ в кг	Δt°
100	30 000	97	42 000	135	55 000	175
150	53 000	100	75 000	142	80 000	152
200	75 000	78	107 000	180	120 000	125
250	91 260	51	144 000	81	190 000	103
300	120 000	63	175 000	91	200 000	103
350	—	—	200 000	92	230 000	91
400	—	—	200 000	93	230 000	91
500	—	—	280 000	101	314 000	115
700	—	—	—	—	436 000	100
1000	—	—	—	—	720 000	80

Глава XIII

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УДЛИНЕНИЯ

Начало разработки теории расчета усилий и напряжений, действующих в трубопроводах при изменении их температуры, относится к 1905—1910 гг.

В то время в паросиловых установках на судах началось широкое использование естественной гибкости трубопроводов в целях компенсации их тепловых удлинений, так как сальниковые компенсаторы при возросших параметрах пара показали свою эксплуатационную непригодность и не обеспечивали безопасности обслуживания.

Использование естественной гибкости трубопроводов для компенсации тепловых удлинений (самокомпенсация) основано на их способности к перемещениям за счет изгиба особенно на криволинейных участках трубопроводов, имеющих повышенную гибкость. Так как трубопровод при этом составляет одну целую систему и не разрезан на части (что неизбежно при установке сальниковых компенсаторов), то надежность эксплуатации во много раз повышается.

Обслуживание самокомпенсирующихся трубопроводов значительно облегчено по сравнению с трубопроводами, имеющими сальниковые компенсаторы. Однако использование самокомпенсации потребовало от проектировщиков повышенного внимания к расчетам труб на прочность, тщательного определения величин усилий и напряжений в трубах и опорах. Расчет гибких компенсаторов лиро-, омега- и П-образной, а также других геометрических форм аналогичен расчету самокомпенсирующихся трубопроводов.

В тридцатых годах отмечалось дальнейшее совершенствование методов расчета в связи с развитием строительства тепловых электростанций в СССР, требующих особой надежности и прочности трубопроводов. В целях упрощения инженерных расчетов при большом объеме проектирования паропроводов в то время был предложен ряд графоаналитических методов, упрощающих определение усилий и напряжений в трубах. Первая

обобщающая работа по вопросам теории расчета трубопроводов на самокомпенсацию тепловых удлинений была опубликована в 1934 г. Г. И. Петелиным.

Дальнейшее совершенствование теории расчета в СССР нашло свое отражение в работах, опубликованных С. Ф. Копьевым, Л. А. Кузнецовым, Б. В. Рудомино, Е. М. Залкиндом, А. А. Волошиным и другими авторами.

В ГДР и ФРГ основными пособиями служили книги Н. Юргенсона и Э. Швенка. Обобщенные результаты многолетних исследований американских авторов были опубликованы в 1957 г. трубопроводной фирмой «Келлог» в виде справочника. Во Франции наиболее полным руководством для проектирования и расчета трубопроводов служит книга Гажа и Жибра. Большой известностью пользуются там также работы Карлье, серия статей которого публиковалась с 1927 по 1947 г.

1. МЕТОД «УПРУГОГО ЦЕНТРА»

При расчетах гибких компенсаторов и самокомпенсирующихся трубопроводов наибольшим распространением пользуется метод «упругого центра».

Трубопровод или гибкий компенсатор, рассчитываемый на самокомпенсацию тепловых удлинений с осью произвольной геометрической формы, представляют собой статически неопределимые плоские системы с двумя или тремя (в зависимости от принятого способа закрепления концов) лишними неизвестными.

Свое название метод получил по используемому приему, упрощающему составление расчетных уравнений, который заключается в переносе основных неизвестных P_x , P_y и M_A из освобожденной от закрепления точки A в упругий центр рассчитываемой системы — точку S (рис. XIII.1).

При этом освобожденный от закрепления конец трубопровода соединяется с упругим центром системы жесткой гипотетической консолью AS , а ось трубопровода предполагается наделенной некоторой распределенной упругой массой, пропорциональной ее жесткости.

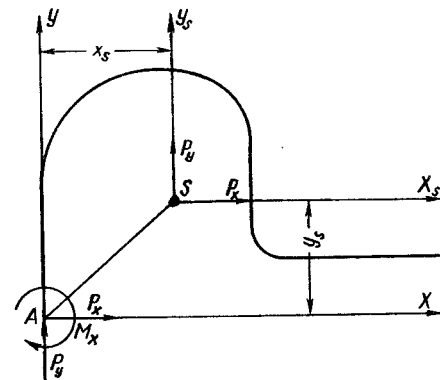


Рис. XIII.1. Расчетная схема к методу упругого центра

Изгибающий момент в произвольно выбранной точке трубопровода a определяется по формуле

$$M_a = P_y(x_1 - x_s) - P_x(y_1 - y_s), \quad (\text{XIII.1})$$

где P_x и P_y — составляющие опорной реакции, приложенные в точке s .

Величины P_x и P_y находятся из уравнений

$$P_x = \frac{(\Delta l_x J_{ys} + \Delta l_y J_{xys})}{J_{xs} J_{ys} - J_{xys}^2} EJ; \quad (\text{XIII.2})$$

$$P_y = \frac{(\Delta l_y J_{xs} + \Delta l_x J_{xys})}{J_{xs} J_{ys} - J_{xys}^2} EJ, \quad (\text{XIII.3})$$

где

$$J_{xs} = \int_s y^2 \frac{ds}{k} - y_s^2 \int_s \frac{ds}{k}; \quad (\text{XIII.4})$$

$$J_{ys} = \int_s x^2 \frac{ds}{k} - x_s^2 \int_s \frac{ds}{k}; \quad (\text{XIII.5})$$

$$J_{xys} = \int_s \frac{xy ds}{k} - x_s y_s \int_s \frac{ds}{k}. \quad (\text{XIII.6})$$

При интегрировании вдоль оси криволинейных участков вводится коэффициент понижения жесткости, предложенный Карманом, поэтому здесь для прямых участков $k=1$, а для изогнутых $k < 1$.

Уравнения (XIII.2), (XIII.3) вместе с равенствами

$$x_s = \frac{\int_s x \frac{ds}{k}}{\int_s \frac{ds}{k}} = \frac{S_y}{L_{np}} \quad (\text{XIII.7})$$

и

$$y_s = \frac{\int_s y \frac{ds}{k}}{\int_s \frac{ds}{k}} = \frac{S_x}{L_{np}}, \quad (\text{XIII.8})$$

которые определяют координаты упругого центра, решают задачу по определению компенсационных сил и моментов для любой плоской системы трубопровода или гибкого компенсатора.

Здесь S_x и S_y — статические моменты осевой линии трубопровода относительно осей X и Y ;

L_{np} — приведенная длина оси трубопровода;

J_{xs} и J_{ys} — моменты инерции осевой линии относительно соответственно осей X_s и Y_s , проходящей через упругий центр;

J_{xys} — центробежный момент инерции осевой линии относительно осей X_s и Y_s .

Большое значение для упрощения решения имеет выбор направления и начала координат первоначальных осей X и Y . Рационально выбранные оси позволяют существенно сократить вычисления. Рекомендуется совмещать оси координат с основными прямолинейными участками рассчитываемой схемы или же направлять их параллельно этим участкам.

Расчет методом упругого центра производится в следующей последовательности:

а) вычисляются моменты инерции относительно осей, проходящих через собственные центры тяжести для всех отрезков (прямых и изогнутых), на которые разделяется ось рассчитываемого трубопровода;

б) по формулам (XIII.7) и (XIII.8) вычисляются координаты упругого центра s , через который проводятся оси X_s и Y_s ;

в) вычисляются значения J_{xs} , J_{ys} и J_{xys} по формулам (XIII.4) — (XIII.6);

г) по уравнениям (XIII.2) и (XIII.3) определяются значения сил P_x и P_y .

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИБКОСТИ ОТВОДОВ

Исследованиями Кармана было показано, что изгиб отводов вызывает овализацию их первоначального поперечного сечения и уменьшение жесткости.

Сплющивание первоначально круглого сечения вызывает существенные изменения и в распределении изгибающих напряжений по сравнению с изгибом балок сплошного сечения.

Коэффициент понижения жесткости гнутых отводов по Карману равен

$$k = \frac{1 + 12h^2}{10 + 12h^2} \text{ при } h > 0,3; \quad (\text{XIII.9})$$

$$k = \frac{3 + 536h^2 + 4800h^4}{105 + 4136h^2 + 4800h^4} \text{ при } h = 0,2 \div 0,3; \quad (\text{XIII.10})$$

$$h = \frac{R\delta}{r_{cp}^2}, \quad (\text{XIII.11})$$

где R — радиус отвода;

δ — толщина стенки;

r_{cp} — средний радиус поперечного сечения.

Для тонкостенных труб большого диаметра, у которых $h \leq 0,2$, решение Кармана не дает совпадения с опытами; для этого случая рекомендуется следующая формула:

$$k = \frac{12h^2 - 1 - j}{12h^2 + 10 - j} \quad (\text{XIII.12})$$

Величина j определяется в зависимости от значения h :

h	0,085	0,1	0,2
j	0,762	0,568	0,3

Для сварных отводов рекомендуется формула

$$k = \frac{h'^2 I_0}{1,52} \quad (\text{XIII.13})$$

где

$$h' = \frac{R_0 \delta}{r_{\text{ср}}^2};$$

R_0 — эквивалентный радиус сварного отвода, равный

$$R_0 = \frac{r_{\text{ср}}}{2} (1 + \text{ctg } \alpha). \quad (\text{XIII.14})$$

Для сварных отводов (90°) из двух секторов $\alpha = 15^\circ$, а для сварных отводов из трех и четырех секторов $\alpha = 11^\circ$.

Значения k для гладких отводов в зависимости от $\frac{d_b}{\delta}$ и R/d_b приведены на рис. XIII.2.

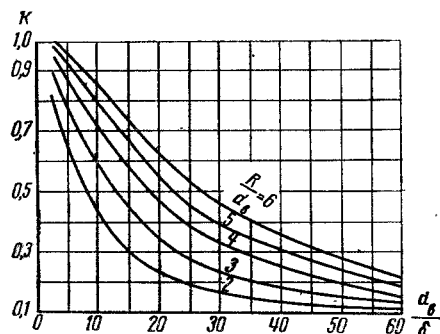


Рис. XIII.2. Значения коэффициента k в зависимости от отношений $\frac{d_b}{\delta}$ и $\frac{R}{d_b}$

Изгибающие напряжения в отводах, согласно теории Кармана, равны

$$\sigma_k = \frac{M m_1}{W},$$

где m_1 — коэффициент концентрации аксиальных напряжений при изгибе, равный: для гнутых отводов

$$m_1 = \frac{12h^2 - 2}{12h^2 + 1}$$

при $h > 1,47$; (XIII.15)

$$m_1 = \frac{2}{3} k \sqrt{\frac{5 + 6h^2}{18}} \quad \text{при } h < 1,47; \quad (\text{XIII.16})$$

для сварных отводов

$$m_1 = \frac{0,9}{h^{0,67}}. \quad (\text{XIII.17})$$

Коэффициент m_1 близок к единице только для отводов, выполненных из толстостенных труб при значениях $h > 0,6$.

Для тонкостенных труб, к которым принадлежат теплофикационные, коэффициент $m_1 = 2 \div 7$. Поэтому компенсационные напряжения в отводах из этих труб всегда значительно выше напряжений на прямых участках трубопровода. Еще большую величину имеют напряжения, возникающие в отводах в поперечном (окружном) направлении к оси и определяемые по формуле

$$\sigma'_k = \frac{M}{W} \cdot \frac{18h}{1 + 12h^2}. \quad (\text{XIII.18})$$

Однако эти напряжения имеют характер локальных пик и не захватывают всю толщину стенки и действуют по нейтральной оси сечения, а следовательно, не суммируются с напряжениями изгиба.

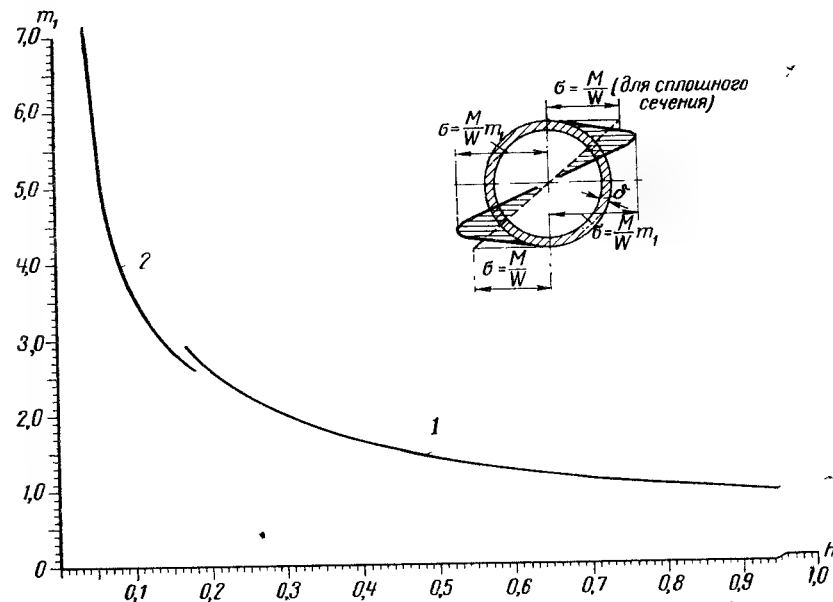


Рис. XIII.3. Распределение напряжений в поперечном сечении изгибаемых отводов и график значений m_1 в зависимости от h
1 — для гнутых отводов; 2 — для сварных отводов

Кроме того, опыт показывает, что влиянием поперечных напряжений от изгиба σ'_k можно пренебречь, поэтому в дальнейших расчетах будут учитываться и суммироваться с другими напряжениями только продольные напряжения σ_k .

Значения m_1 в зависимости от h для гнутых и сварных отводов приведены на рис. XIII.3 и даны в приложении II.

При равных радиусах R сварной отвод будет несколько жестче гнутого, так как для него коэффициент k будет на 20—25% больше.

Компенсаторы со сварными отводами некоторыми авторами рассчитываются неправильно, без учета коэффициента Кармана, т. е. принимается, что $k=1$. Это снижает их фактическую компенсирующую способность и приводит к неоправданному увеличению размеров вылета.

Исследования, проведенные в СССР и за рубежом, позволили установить, что сварные отводы повышают гибкость компенсаторов из тонкостенных труб по аналогии с гнутыми отводами.

3. РАСЧЕТ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В САМОКОМПЕНСИРУЮЩИХСЯ ТРУБОПРОВОДАХ Г-ОБРАЗНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Г-образные схемы компенсации — одни из наиболее распространенных в тепловых сетях.

В проектировании встречаются следующие схемы Г-образной конфигурации, требующие применения различных расчетных формул или графиков:

- симметричные при поворотах трассы под прямым углом;
- несимметричные с различной длиной прямых участков под прямым углом;
- симметричные при поворотах трассы под тупым углом;
- несимметричные при поворотах трассы под тупым углом.

Находят применение приближенные и точные способы расчета (без учета и с учетом гибкости отводов).

В том и другом расчете не учитывается сопротивление трения в опорах, что при скользящих опорах и длинных прямых участках может повлиять на конечный результат. Приближенные методы расчета допустимы в схемах, у которых длина каждого из прямых участков (или одного из них) превышает $10R$ или $40d_n$. При более коротких прямых участках следует учитывать гибкость отводов.

Во многих справочных руководствах по трубопроводам приводится следующая простая формула, пригодная для приближенного расчета компенсационных напряжений в Г-образных схемах:

$$\sigma_k = \frac{1,5\Delta t E d_n (n+1)}{L^2}, \quad (\text{XIII.19})$$

где n — отношение длин большого участка к меньшему;
 L — длина меньшего участка в см;
 Δt — температурное удлинение меньшего участка в см.

Эта формула не учитывает гибкости отводов, поэтому возможность ее применения ограничена условием $L \geq 40 d_n$. Помимо проверки величины компенсационного напряжения при расчетах на самокомпенсацию необходимо определять величины реактивных усилий, действующих на неподвижные опоры. Поэтому при проектировании тепловых сетей нельзя ограничиваться только расчетами по формуле (XIII.19), как это иногда делается.

Расчет Г-образного трубопровода без учета гибкости отводов. Рассмотрим Г-образный участок трубопровода при повороте трассы под тупым углом $(90+\alpha)$. Начало координат X, Y располагаем в точке A (рис. XIII.4).

Координаты упругого центра S равны

$$x_s = \frac{l_2^2 \cos \alpha}{2(l_1 + l_2)}, \quad (\text{XIII.20})$$

$$y_s = \frac{l_2 \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \sin \alpha \right) + \frac{l_1^2}{2}}{l_1 + l_2}. \quad (\text{XIII.21})$$

Моменты инерции осевой линии относительно осей X_s и Y_s равны

$$J_{xs} = l_2^2 \left(l_1 \sin \alpha + \frac{l_2}{3} \sin^2 \alpha \right) + l_1^2 \left(l_2 + \frac{l_1}{3} \right) - \frac{\left[l_2 \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \sin \alpha \right) + \frac{l_1^2}{2} \right]^2}{l_1 + l_2}, \quad (\text{XIII.22})$$

$$J_{ys} = \frac{l_2^3}{3} \cos^2 \alpha - \frac{(l_2^2 \cos \alpha)^2}{4(l_1 + l_2)}; \quad (\text{XIII.23})$$

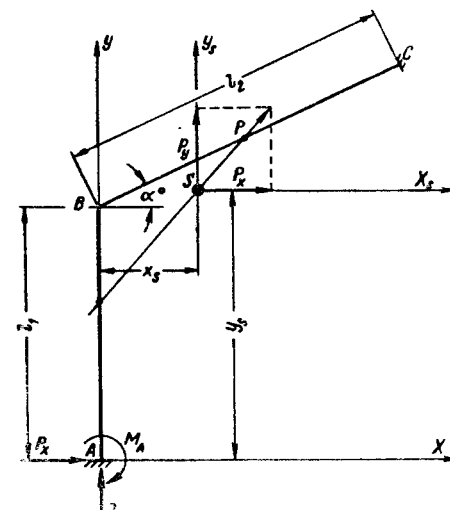


Рис. XIII.4. Расчетная схема Г-образного самокомпенсирующего трубопровода без учета гибкости отводов

$$J_{xys} = \frac{l_2^3}{6} \sin 2\alpha + \frac{l_1 l_2^2}{2} \cos \alpha - \frac{l_2^2 \cos \alpha}{2(l_1 + l_2)} \left[l_2 \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \sin \alpha \right) + \frac{l_1^2}{2} \right]. \quad (\text{XIII.24})$$

Силы P_x и P_y определяются подстановкой полученных величин J_{xs} , J_{ys} , J_{xys} в уравнения (XIII.2) и (XIII.3). Максимальный изгибающий момент действует в сечении, расположенном у неподвижной опоры меньшего участка:

$$M_A = P_x y_s - P_y x_s. \quad (\text{XIII.25})$$

Момент в точке B:

при $y_s < l_1$ и $y_s > l_1$

$$M_B = P_x (y_s - l_1) - P_y x_s. \quad (\text{XIII.26})$$

Момент в точке C:

$$M_C = P_y (l_2 \cos \alpha - x_s) - P_x (l_2 \sin \alpha - y_s + l_1). \quad (\text{XIII.27})$$

Напряжения в трубах определяются по формуле

$$\sigma_k = \frac{M}{W}.$$

Коэффициент концентрации m_1 на изогнутом участке в точке B в расчет не вводится, если P_x и P_y были определены в предположении $R=0$ и $k=1$.

Для Г-образных схем с прямым углом расчетные формулы упрощаются.

Приравнявая $\alpha=0$ и принимая $l_2=nl_1$, получаем

$$J_{xs} = \frac{l_1}{3} - \frac{0,25 l_1^3}{n+1}; \quad (\text{XIII.28})$$

$$J_{ys} = \frac{n^3 l_1^3}{3} - \frac{0,25 n^4 l_1^3}{n+1}; \quad (\text{XIII.29})$$

$$J_{xys} = \frac{0,25 n^2 l_1^3}{n+1}. \quad (\text{XIII.30})$$

Координаты упругого центра вычисляются по формулам

$$x_s = \frac{n^2 l_1}{2(n+1)};$$

$$y_s = \frac{n l_1 + \frac{l_1}{2}}{n+1}. \quad (\text{XIII.31})$$

Силы P_x и P_y находятся подстановкой в уравнения (XIII.2) и (XIII.3).

Изгибающий момент в точке A равен

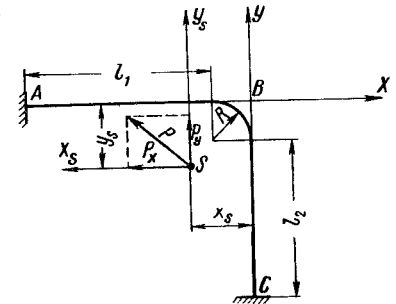
$$M_A = \frac{l_1}{2(n+1)} [2P_x(n+0,5) - P_y n^2]. \quad (\text{XIII.32})$$

Для определения напряжений σ_k в Г-образных схемах с прямым углом без учета гибкости отвода можно пользоваться графиком, приведенным в приложении III, в котором принято $n = \frac{L}{l}$

(где l и L — длины соответственно меньшего и большего плеча в см).

Напряжения в точках A, B и C определяются по формуле

$$\sigma_k = \sigma' \frac{\Delta t d_n}{L}. \quad (\text{XIII.32a})$$



Расчет Г-образного трубопровода с учетом гибкости отводов. Угол поворота трассы равен 90° и прямые участки имеют длину меньше $10R$.

Расчетная схема приведена на рис. XIII.5.

Координаты упругого центра s равны

$$y_s = \frac{0,57 \frac{R^2}{k} + 0,5 l_2^2 + l_2 R}{L_{np}}; \quad (\text{XIII.33})$$

$$x_s = \frac{0,5 l_1^2 + l_1 R + 0,5 \frac{R^2}{k}}{L_{np}}, \quad (\text{XIII.34})$$

где

$$L_{np} = l_1 + l_2 + 1,57 \frac{R}{k}. \quad (\text{XIII.35})$$

Моменты инерции осевой линии относительно осей координат, проведенных через упругий центр, вычисляются по формулам

$$J_{xs} = 0,35 \frac{R^3}{k} + \frac{l_2^3}{3} + l_2^2 R + l_2 R^2 - L_{np} y_s^2; \quad (\text{XIII.36})$$

$$J_{ys} = \frac{1}{3} l_1^3 + l_1^2 R + l_1 R^2 + 0,35 \frac{R^3}{k} - L_{np} x_s^2, \quad (\text{XIII.37})$$

$$J_{xys} = 0,07 \frac{R^3}{k} - L_{np} x_s y_s. \quad (\text{XIII.38})$$

Рис. XIII.5. Расчетная схема Г-образного самокомпенсирующегося трубопровода с учетом гибкости отводов

Силы P_x и P_y равны

$$P_x = \frac{EJ}{10^6} \cdot \frac{(\Delta l_x J_{ys} + \Delta l_y J_{xys})}{J_{xs} J_{ys} - J_{xys}^2} \kappa \Gamma; \quad (\text{XIII.39})$$

$$P_y = \frac{EJ}{10^6} \cdot \frac{(\Delta l_y J_{xs} + \Delta l_x J_{xys})}{J_{xs} J_{ys} - J_{xys}^2} \kappa \Gamma. \quad (\text{XIII.40})$$

В формулах (XIII.39) и (XIII.40) l_1 и l_2 даны в м, а Δl_x , Δl_y — в см.

Изгибающие моменты: в точке А

$$M_A = P_y (l_1 + R - x_s) - P_x y_s; \quad (\text{XIII.41})$$

в точке С

$$M_C = P_x (l_2 + R - y_s) - P_y x_s; \quad (\text{XIII.42})$$

в точке В при $x_s > R$ и $y_s > R$

$$M_B = P_x (y_s - 0,293 R) + P_y (x_s - 0,293 R). \quad (\text{XIII.43})$$

Напряжения изгиба равны: на прямых участках трубы $\sigma = \frac{M}{W}$, а на изогнутом участке (отводе) $\sigma_B = \frac{M_B m_1}{W}$.

Для определения напряжений можно пользоваться графиками, приведенными в приложениях IV—VI.

На графиках принято: $l_1 = nR$; $l_2 = pR$; $R = 4d_n$.

Напряжения изгиба в $\kappa \Gamma / \text{см}^2$ вычисляются при помощи вспомогательных величин σ'_A , σ'_B , σ'_C , взятых из графиков приложений IV—V, а затем по формулам

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A &= \sigma'_A \frac{\Delta t \tau E d_n}{2R}; \\ \sigma_B &= \sigma'_B \frac{\Delta t \tau E d_n}{2R}; \\ \sigma_C &= \sigma'_C \frac{\Delta t \tau E d_n}{2R}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIII.44})$$

При построении графика для σ'_B учтен коэффициент концентрации напряжений m_1 .

Компенсационное усилие P_x можно определить по графику приложения VI.

Величина

$$P_x = \frac{\Delta t \alpha E J P'_x}{R^2}, \quad (\text{XIII.44a})$$

где P'_x — коэффициент, определяемый по графику в зависимости от отношения n/p и значения n .

Для определения усилия P_y следует пользоваться той же формулой (XIII.44a), только при определении значения P'_y по графику необходимо отношение n/p заменить на отношение p/n и вместо n взять коэффициент p .

Пример расчета

Проверить напряжения и определить усилия в самокомпенсирующемся трубопроводе Г-образной конфигурации по схеме, приведенной на рис. XIII.5. при следующих данных: $d_n = 426$ мм; $\delta = 9$ мм; $J = 25\,650$ см⁴; $l_1 = 10,2$ м; $l_2 = 17$ м; $R = 1,7$ м (гнутый отвод); $k = 0,2$; $\Delta t = 100^\circ$.

Координаты упругого центра вычисляются по уравнениям (XIII.33) и (XIII.34):

$$y_s = \frac{0,57 \frac{1,7^3}{0,2} + 0,5 \cdot 17^2 + 17 \cdot 1,7}{40,6} = 4,1 \text{ м};$$

$$x_s = \frac{0,5 \cdot 10,2^2 + 10,2 \cdot 1,7 + 0,5 \frac{1,7^3}{0,2}}{40,6} = 1,9 \text{ м},$$

где

$$L_{np} = 10,2 + 17 + 1,57 \frac{1,7}{0,2} = 40,6 \text{ м}.$$

Моменты инерции осевой линии трубопровода вычисляются по уравнениям (XIII.36) — (XIII.38):

$$J_{xs} = 0,35 \frac{1,7^3}{0,2} + \frac{17^3}{3} + 17^2 \cdot 1,7 + 17 \cdot 1,7^2 - 40,6 \cdot 4,1^2 = 1510 \text{ м}^4;$$

$$J_{ys} = \frac{1}{3} 10,2^3 + 10,2^2 \cdot 1,7 + 10,2 \cdot 1,7^2 + 0,35 \frac{1,7^3}{0,2} - 40,6 \cdot 1,9^2 = 422 \text{ м}^4;$$

$$J_{xys} = \frac{0,07 \cdot 1,7^3}{0,2} - 40,6 \cdot 1,9 \cdot 4,1 = 314 \text{ м}^4.$$

Температурные удлинения Δl_x , Δl_y равны

$$\Delta l_x = (1020 + 170) 0,000012 \cdot 100 = 1,43 \text{ см};$$

$$\Delta l_y = (1700 + 170) 0,000012 \cdot 100 = 2,24 \text{ см}.$$

Упругие силы P_x и P_y находим, подставляя полученные значения J_{xs} , J_{ys} , J_{xys} , Δl_x и Δl_y в формулы (XIII.39) и (XIII.40):

$$P_x = 2,1 \cdot 25\,650 \frac{(1,43 \cdot 422 + 2,24 \cdot 314)}{1510 \cdot 422 - 314^2} = 127 \text{ кг};$$

$$P_y = 2,1 \cdot 25\,650 \frac{(2,24 \cdot 1510 + 1,43 \cdot 314)}{1510 \cdot 422 - 314^2} = 375 \text{ кг}.$$

Изгибающие (компенсационные) моменты находятся из уравнений (XIII.41) — (XIII.43):

$$M_A = 127 \cdot 4,1 - 375 (11,9 - 1,9) = 520 - 3750 = -3230 \text{ кгм};$$

$$M_C = 375 \cdot 1,9 - 127 (18,7 - 4,1) = 714 - 1850 = -1136 \text{ кгм};$$

$$M_B = 127 (4,1 - 0,293 \cdot 1,7) + 375 (1,9 - 0,293 \cdot 1,7) = 456 + 525 = 981 \text{ кгм}.$$

Напряжения в стенках труб:

на прямых участках

$$\sigma_A = \frac{323\,000 \cdot 21}{25\,650} = 264 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_C = \frac{113\,600 \cdot 21}{25\,650} = 93 \text{ кг/см}^2;$$

в гнутом отводе

$$\sigma_B = \frac{98\,100 \cdot 21 \cdot 1,8}{25\,650} = 144 \text{ кг/см}^2.$$

Произведем этот же расчет при помощи графиков, приведенных в приложениях IV—VI.

Согласно схеме трубопровода находим параметры n и p :

$$n = \frac{l_1}{R} = \frac{10,2}{1,7} = 6; p = \frac{17}{1,7} = 10;$$

тогда $\frac{n}{p} = \frac{6}{10} = 0,6.$

По кривой на графике приложения VI для $n/p=0,6$ и $n=6$ находим величину $P_x = 0,065$. Усилие P_x определяется по формуле

$$P_x = \Delta t \frac{\alpha EJ}{R^2} P'_x = 100 \cdot 0,000012 \cdot 2,1 \cdot \frac{10^6 \cdot 25\,650}{170^2} \cdot 0,065 = 145 \text{ кг}.$$

Величина $P'_y = 0,19$ определяется по тому же графику (приложение VI), считая $n=10$; $n/p=1,6$.

Усилие P_y определяется аналогично предыдущему:

$$P_y = \Delta t \frac{\alpha EJ}{R^2} P'_y = 100 \cdot 0,000012 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 25\,650 \cdot 0,19}{170^2} = 405 \text{ кг}.$$

Полученные величины усилий несколько больше определенных аналитическим расчетом.

Напряжения в точках A и C определяем по графику приложения IV. Для $n=6$ и $n/p=0,6$ находим $\sigma'_A = 0,92$. По формуле (XIII.44) находим напряжение в точке A трубопровода:

$$\sigma_A = 0,92 \cdot 100 \cdot \frac{0,000012 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 42,6}{2 \cdot 170} = 285 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение в точке C определяем, принимая $n/p=1,67$ и $n=10$, тогда $\sigma'_C = 0,45$ и

$$\sigma_C = 0,45 \cdot 100 \cdot \frac{0,000012 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 42,6}{2 \cdot 170} = 125 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение в точке B находим аналогичным образом по приложению V и формуле (XIII.44):

$$\sigma_B = 0,46 \cdot 100 \cdot \frac{0,000012 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 42,6}{2 \cdot 170} = 143 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет этого же трубопровода, но без учета гибкости отвода приводит к следующим результатам: при $P_x=520$ кг и $P_y=315$ кг $\sigma_A=495$ кг/см² и $\sigma_C=283$ кг/см².

Следовательно, при учете гибкости отвода примерно в 2 раза снижаются напряжения в опасном сечении трубопровода.

4. РАСЧЕТ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В САМОКОМПЕНСИРУЮЩИХСЯ ТРУБОПРОВОДАХ Z-ОБРАЗНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Расчет Z-образного трубопровода без учета гибкости отводов. Расчетная схема трубопровода приведена на рис. XIII.6.

Эти схемы в проектировании тепловых сетей встречаются так же часто, как и Г-образные.

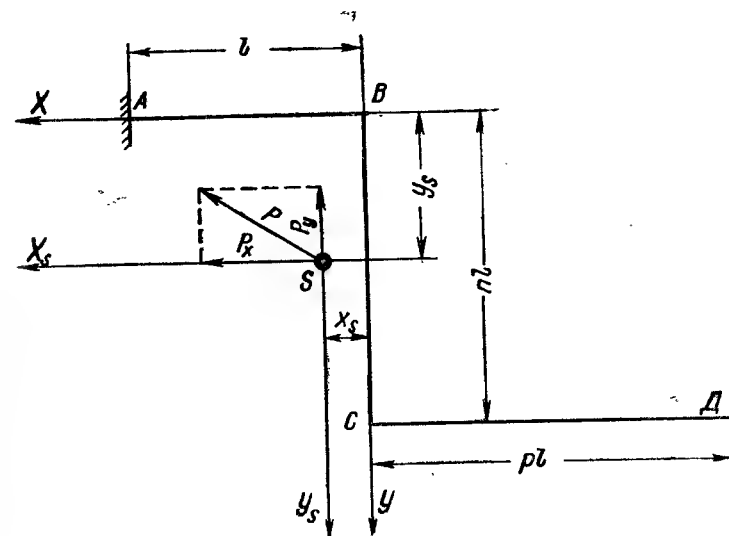


Рис. XIII.6. Расчетная схема Z-образного самокомпенсирующегося трубопровода без учета гибкости отводов

Координаты упругого центра вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_s &= \frac{\frac{l}{2}(1-p^2)}{1+n+p}; \\ y_s &= \frac{l \left(\frac{n^2}{2} + np \right)}{1+n+p} \end{aligned} \right\} \quad (XIII.45)$$

Моменты инерции осевой линии трубопровода относительно осей X_s и Y_s вычисляются по уравнениям

$$J_{xs} = I^3 \left[\frac{n^3}{3} + pn^2 - \frac{\left(\frac{n^2}{2} + np\right)^2}{1+n+p} \right]; \quad (\text{XIII.46})$$

$$J_{ys} = I^3 \left[\frac{1}{3} + \frac{p^3}{3} - \frac{(1-p^2)^2}{4(1+n+p)} \right]; \quad (\text{XIII.47})$$

$$J_{xys} = -\frac{I^3}{2} \left[np^2 + \frac{(1-p^2)\left(\frac{n^2}{2} + np\right)}{1+n+p} \right]. \quad (\text{XIII.48})$$

По вычисленным величинам моментов инерции J_{xs} , J_{ys} , J_{xys} определяются усилия P_x и P_y , пользуясь уравнениями (XIII.39) и (XIII.40).

Изгибающие моменты вычисляются по следующим формулам:

при $p < 1$

$$\left. \begin{aligned} M_A &= P_x y_s - P_y (l - x_s); \\ M_B &= P_y x_s + P_x y_s; \\ M_C &= P_y x_s - P_x (nl - y_s); \\ M_D &= P_y (pl + x_s) - P_x (nl - y_s); \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIII.49})$$

при $p > 1$

$$\left. \begin{aligned} M_A &= P_x y_s - P_y (l + x_s); \\ M_B &= P_x y_s - P_y x_s; \\ M_C &= -P_y x_s - P_x (nl - y_s); \\ M_D &= P_y (pl - x_s) - P_x (nl - y_s). \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIII.49a})$$

Наибольший изгибающий момент действует в неподвижно заделанном сечении у короткого плеча (кроме случая, когда $n \leq 1,5$). При этом максимальный момент действует в одном из угловых сечений (в точках B или C).

Для симметричных Z-образных схем ($p=1$) расчетные формулы значительно упрощаются:

$$\left. \begin{aligned} J_{xs} &= I^3 n^2 \left[\frac{n}{3} + 1 - \frac{\left(\frac{n^2}{4} + n + 1\right)}{n+2} \right]; \\ J_{ys} &= \frac{2}{3} I^3; \\ J_{xys} &= -\frac{nl^3}{2}; \\ M_A &= M_D = P_x \frac{nl}{2} - P_y l; \\ M_B &= M_C = P_x \frac{nl}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIII.50})$$

Расчет Z-образного трубопровода с учетом гибкости отводов. Расчетная схема трубопровода приведена на рис. XIII.7. Координаты упругого центра вычисляются по формулам

$$x_s = \frac{0,5l_1^2 - 0,5l_3^2 + R(l_1 - l_3)}{L_{np}}; \quad (\text{XIII.51})$$

$$y_s = \frac{3,14 \frac{R^2}{k} + 1,57 \frac{R}{k} l_2 + 0,5l_2^2 + l_2 R + l_2 l_3 + 2Rl_3}{L_{np}}; \quad (\text{XIII.52})$$

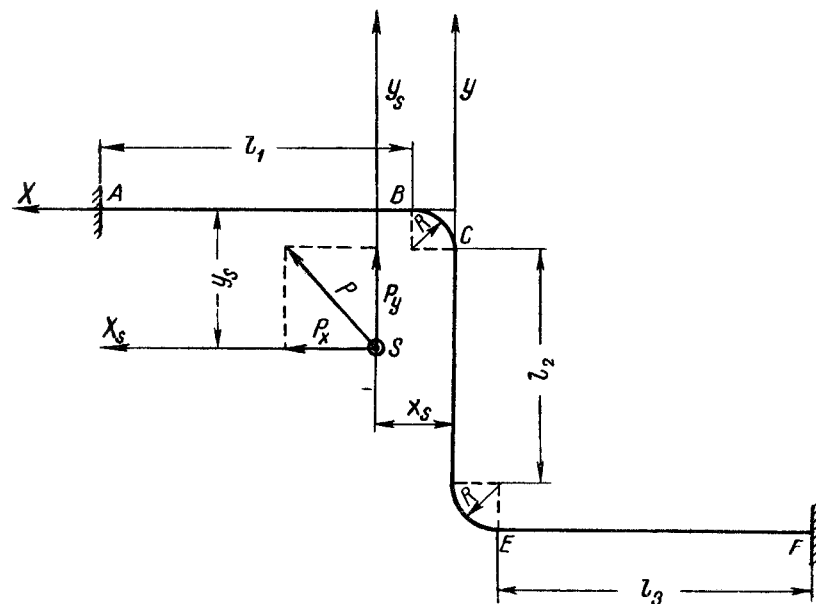


Рис. XIII.7. Расчетная схема Z-образного трубопровода с учетом гибкости отводов

После построения новой системы осей координат с началом в упругом центре s вычисляются моменты инерции осевой линии трубопровода относительно осей X_s и Y_s по уравнениям

$$J_{xs} = 4,7 \frac{R^3}{k} + 5,14 \frac{R^2}{k} l_2 + 1,57 \frac{R}{k} l_2^2 + \frac{1}{3} l_2^3 + l_2^2 R + l_2 R^2 + l_2^2 l_3 + 4Rl_2 l_3 + 4R^2 l_3 - L_{np} y_s^2; \quad (\text{XIII.53})$$

$$J_{ys} = \frac{1}{3} l_1^3 + \frac{1}{3} l_3^3 + R l_1^2 + R l_3^2 + R^2 (l_1 + l_3) + \frac{0,7R^3}{k} - L_{np} x_s^2; \quad (\text{XIII.54})$$

$$J_{xys} = -\frac{R^3}{k} - \frac{0,57R^2}{k} l_2 - (l_2 + 2R) \times \\ \times (0,5 l_3^2 + l_3 R) - L_{пр} x_s y_s. \quad (\text{XIII.55})$$

Дальнейшие вычисления по определению P_x и P_y , изгибающих моментов и напряжений аналогичны приведенным выше.

В том случае, если один из концов Г- или Z-образного трубопровода (например, в точке А или D) имеет возможность поворота на некоторый угол, т. е. установленная там опора или присоединение обладает шарнирностью, усилия P_x и P_y вычисляются по формулам

$$P_x = \frac{(\Delta l_x J_y + \Delta l_y J_{xy}) EJ}{J_x J_y - J_{xy}^2}; \quad (\text{XIII.56})$$

$$P_y = \frac{(\Delta l_y J_x + \Delta l_x J_{xy}) EJ}{J_x J_y - J_{xy}^2}. \quad (\text{XIII.57})$$

В этих уравнениях J_x , J_y и J_{xy} — моменты инерции относительно осей X и Y с началом координат в шарнирной опоре. Изгибающие моменты в любой точке трубопровода находят-ся как произведение равнодействующей силы $P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ на расстояние от линии действия силы P до рассматриваемого сечения.

Примеры расчета

1. Определить усилия и напряжения в Z-образном трубопроводе, схема которого приведена на рис. XIII.8, а, без учета гибкости отводов, при следующих данных: $d_n = 426 \text{ мм}$; $\delta = 7 \text{ мм}$; $J = 20\,300 \text{ см}^4$; $W = 955 \text{ см}^3$; $l_1 = 3 \text{ м}$; $nl = 9 \text{ м}$; $pl = 5 \text{ м}$; $\Delta t = 140^\circ$; коэффициенты $n = \frac{9}{3} = 3$, $p = \frac{5}{3} = 1,67$.

Находим координаты упругого центра по уравнениям (XIII.45)

$$x_s = \frac{\frac{3}{2} (1 - 1,67^2)}{1 + 3 + 1,67} = -0,47 \text{ м}; \quad y_s = \frac{3 \left(\frac{3^2}{2} + 3 \cdot 1,67 \right)}{1 + 3 + 1,67} = 5 \text{ м}.$$

Определяем моменты инерции осевой линии трубопровода по формулам (XIII.46) — (XIII.48):

$$J_{xs} = 3^3 \left[\frac{3^3}{3} + 1,67 \cdot 3^2 - \frac{\left(\frac{3^2}{2} + 1,67 \cdot 3 \right)^2}{1 + 3 + 1,67} \right] = 222 \text{ м}^3;$$

$$J_{ys} = 3^3 \left[\frac{1}{3} + \frac{1,67^3}{3} - \frac{(1 - 1,67^2)^2}{4(1 + 3 + 1,67)} \right] = 47 \text{ м}^3;$$

$$J_{xys} = -\frac{3^3}{2} \left[3 \cdot 1,67^2 + \frac{(1 - 1,67^2) \left(\frac{3^2}{2} + 3 \cdot 1,67 \right)}{1 + 3 + 1,67} \right] = -72 \text{ м}^3.$$

Температурные удлинения при $\Delta t = 140^\circ$ равны

$$\Delta l_x = (300 + 500) 0,000012 \cdot 140 = 1,35 \text{ см};$$

$$\Delta l_y = 900 \cdot 0,000012 \cdot 140 = 1,51 \text{ см}.$$

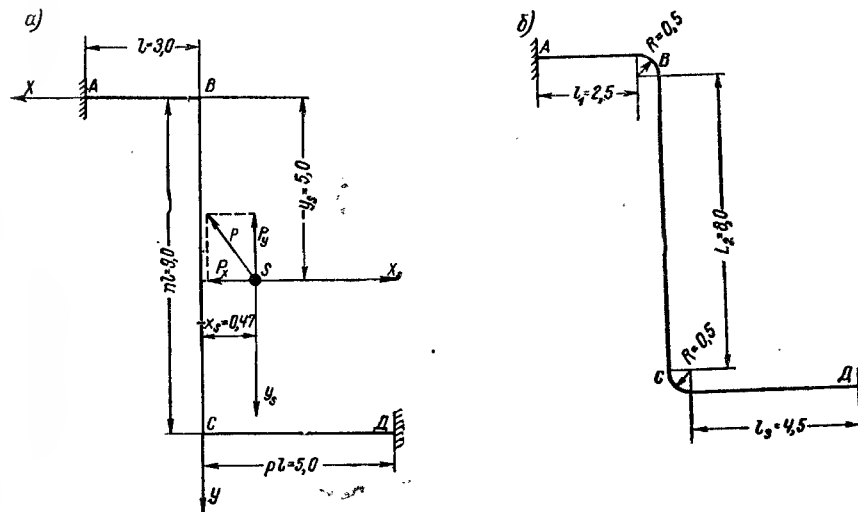


Рис. XIII.8. Расчетные схемы Z-образных трубопроводов
а — без учета гибкости отводов; б — с учетом гибкости отводов

Усилия P_x и P_y вычисляются по формулам (XII.39) и (XIII.40) с учетом изменения знака в числителе на обратный для схемы Z-образных трубопроводов

$$P_x = \frac{2,1 \cdot 10^6}{10^6} 20\,300 \frac{(1,35 \cdot 47 + 1,51 \cdot 72)}{222 \cdot 47 - 72^2} = 1400 \text{ кг};$$

$$P_y = \frac{2,1 \cdot 10^6}{10^6} 20\,300 \frac{(1,51 \cdot 222 + 1,35 \cdot 72)}{222 \cdot 47 - 72^2} = 3600 \text{ кг}.$$

Изгибающие моменты вычисляются по уравнениям (XIII.49а):

$$M_A = 1400 \cdot 5 - 3600 (3 + 0,47) = -5500 \text{ кгм};$$

$$M_B = -3600 \cdot 0,47 + 1400 \cdot 5 = 5300 \text{ кгм};$$

$$M_C = -3600 \cdot 0,47 - 1400 (9 - 5) = -3900 \text{ кгм};$$

$$M_D = 3600 (5 - 0,47) - 1400 (3 - 5) = 10\,700 \text{ кгм}.$$

Максимальное напряжение находится в точке D:

$$\sigma_k = \frac{1\,070\,000}{955} = 1100 \text{ кг/см}^2.$$

2. Определить усилия и напряжения в этом же трубопроводе, но с учетом гибкости отводов.

Схема трубопровода приведена на рис. XIII.8, б, где радиус отвода $R = 0,5 \text{ м}$; $l_1 = 2,5 \text{ м}$; $l_2 = 8 \text{ м}$; $l_3 = 4,5 \text{ м}$.

Коэффициент снижения жесткости отвода $k=0,1$.
Координаты упругого центра, согласно уравнениям (XIII.51) и (XIII.52), равны

$$y_s = \frac{0,5 \cdot 2,5^2 - 0,5 \cdot 4,5^2 + 0,5(2,5 - 4,5)}{30,7} = 4,85 \text{ м};$$

$$x_s = \frac{\frac{3,14 \cdot 0,5^2}{0,1} + \frac{1,57 \cdot 0,5}{0,1}}{30,7} \cdot 8 + 0,5 \cdot 8^2 + 8 \cdot 0,5 + 8 \cdot 4,5 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4,5 = 0,26 \text{ м},$$

при $L_{пр} = 2,5 + 8,0 + 4,5 + \frac{0,5 \cdot 3,14}{0,1} = 30,7 \text{ м}.$

Моменты инерции осевой линии вычисляются по уравнениям (XIII.53) — (XIII.55):

$$J_{xs} = \frac{4,7 \cdot 0,5^3}{0,1} + 5,14 \frac{0,5^2}{0,1} 8 + 1,57 \frac{0,5}{0,1} 8^2 + \frac{1}{3} 8^3 + 8^2 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,5^2 + 8^2 \cdot 4,5 + 4 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 4,5 + 4 \cdot 0,5^2 \cdot 4,5 - 30,7 \cdot 4,85^2 = 470 \text{ м}^4;$$

$$J_{ys} = \frac{1}{3} 2,5^3 + \frac{1}{3} 4,5^3 + 0,5 \cdot 2,5^2 + 0,5 \cdot 4,5^2 + 0,5^2 \times (2,5 + 4,5) + \frac{0,7 \cdot 0,5^3}{0,1} - 30,7 \cdot 0,26^2 = 48,7 \text{ м}^4;$$

$$J_{xys} = \frac{-0,5^3}{0,1} - \frac{0,57 \cdot 0,5^2}{0,1} 8 - (8 + 2 \cdot 0,5) (0,5 \cdot 4,5^2 + 4,5 \cdot 0,5) + 30,7 \cdot 4,85 \cdot 0,26 = -85 \text{ м}^4.$$

Усилия P_x и P_y определяются по уравнениям (XIII.39) и (XIII.40) с учетом изменения знака на обратный в числителе для данной схемы:

$$P_x = \frac{2,1 \cdot 10^6}{10^6} 20 300 \frac{(1,35 \cdot 48,7 + 1,51 \cdot 85)}{470 \cdot 48,7 - 85^2} = \frac{8 250 000}{15 090} = 550 \text{ кГ};$$

$$P_y = \frac{2,1 \cdot 10^6}{10^6} 20 300 \frac{(1,51 \cdot 470 + 1,35 \cdot 85)}{470 \cdot 48,7 - 85^2} = \frac{34 600 000}{15 090} = 2300 \text{ кГ}.$$

Изгибающие моменты вычисляются по уравнениям (XIII.49а):

$$M_A = 550 \cdot 4,85 - 2300(3 + 0,26) = -4858 \text{ кГм};$$

$$M_B = -2300 \cdot 0,26 + 550 \cdot 4,85 = 2042 \text{ кГм};$$

$$M_C = -2300 \cdot 0,26 - 550(9 - 4,85) = -2908 \text{ кГм};$$

$$M_D = -550(9 - 4,85) + 2300(5 - 0,26) = 8660 \text{ кГм}.$$

Максимальный изгибающий момент действует в сечении трубопровода у неподвижной опоры D (рис. XIII.8,б).

Напряжение в точке D равно

$$\sigma_k = \frac{866000}{955} = 907 \text{ кГ/см}^2.$$

Напряжение в сечении, расположенном на изогнутом участке трубы (отводе), равно

$$\sigma_k = \frac{290 800 \cdot 4,4}{955} = 1340 \text{ кГ/см}^2.$$

В заключение укажем, что наряду с плоскими Z-образными схемами компенсации удлинений встречаются и пространственные (например, при выходе подземных теплопроводов на эстакады или мосты). Расчеты таких теплопроводов можно производить, пользуясь, например, указаниями, содержащимися в книгах А. А. Волошина, Х. Юргенсона и др.

5. СУММАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В САМОКОМПЕНСИРУЮЩИХСЯ ТРУБОПРОВОДАХ

Определение величины компенсирующей способности трубопроводов требует либо расчета напряжений в опасных сечениях, либо определения предельного состояния.

Ввиду недостаточной в настоящее время разработанности метода расчета компенсаторов по предельным усилиям ниже рассмотрены способы суммирования напряжений и сравнения их с максимально допускаемой величиной напряжения.

Компенсационные усилия вызывают в сечениях трубопровода продольные напряжения, величина которых равна: на прямых участках

$$\sigma_k = \frac{M_k}{W}; \quad (\text{XIII.58})$$

на изогнутых участках (отводах)

$$\sigma_k = \frac{M_k}{W} m_1, \quad (\text{XIII.59})$$

где M_k — изгибающий момент от компенсационных усилий;

W — момент сопротивления поперечного сечения трубы;

m_1 — коэффициент концентрации напряжений в отводах.

Внутреннее давление вызывает напряжения:

продольные (аксиальные)

$$\sigma_a = \frac{p_0 d_n}{4\delta}; \quad (\text{XIII.60})$$

окружные (тангенциальные)

$$\sigma_t = \frac{p_0 d_n}{2\delta}; \quad (\text{XIII.61})$$

радиальные

$$\sigma_r = -p_0, \quad (\text{XIII.62})$$

где δ — минимальная толщина стенки трубы.

От весовых нагрузок возникают изгибающие напряжения

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W}, \quad (\text{XIII.63})$$

действующие в продольном направлении.

Таким образом, суммарное напряжение, действующее в продольном направлении, равно:

для прямолинейного участка трубопровода

$$\Sigma \sigma_a = \sigma_a + \sigma_k + \sigma_n = \frac{p_0 d_n}{4\delta} + \frac{M_k + M_n}{W}; \quad (\text{XIII.64})$$

для криволинейного участка трубопровода

$$\Sigma \sigma_a = \sigma_a + \sigma_k + \sigma_n = \frac{p_0 d_n}{4\delta} + \frac{M_k m_1 + M_n}{W}. \quad (\text{XIII.65})$$

Суммарные напряжения:

окружные

$$\sigma_c = \frac{p_0 d_n}{2\delta}; \quad (\text{XIII.66})$$

радиальные

$$\sigma_r = -p_0. \quad (\text{XIII.67})$$

Для горизонтально уложенных компенсаторов продольное суммарное напряжение равно

$$\Sigma \sigma_a = \sigma_a + \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_n^2}. \quad (\text{XIII.68})$$

Значение σ_r для теплопроводов, как правило, невелико, и им обычно пренебрегают.

Приведенное напряжение в стенке трубы, определяемое энергетической теорией прочности, имеет вид

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 - \sigma_a \sigma_c}. \quad (\text{XIII.69})$$

При учете всех перечисленных выше напряжений запас прочности может быть принят равным 1,25 по отношению к условному пределу текучести стали при растяжении (σ_T^t).

Для наиболее употребительных в тепловых сетях углеродистых трубных сталей марок 20 и Ст.3 могут быть приняты следующие значения σ_T^t по материалам Центрального котлотурбинного института имени Ползунова (ЦКТИ):

для $t=20 \div 200^\circ\text{C}$	2600—2200 кг/см^2
• $t=200 \div 250^\circ\text{C}$	2000—1800 »
• $t=250 \div 300^\circ\text{C}$	1800—1500 »
• $t=300 \div 425^\circ\text{C}$	1400—1240 »

При проектировании трубопроводов с давлением более $p_0 = 16 \text{ кг/см}^2$ и температурой выше 200°C необходимо руководствоваться нормами расчета элементов паровых котлов на прочность.

Для проектирования экономичных по размерам конструкций гибких компенсаторов помимо точности принятого метода расчета и расчетных формул важное значение имеет также правильное назначение напряжений изгиба от компенсационных усилий σ_k .

Необходимо подчеркнуть, что при отсутствии возможности выполнения условия прочности при совместном действии внутреннего давления компенсационных усилий не следует утолщать стенки труб, а нужно принять конструктивные меры к увеличению гибкости трубопровода или компенсатора (например, применять предварительную растяжку в холодном состоянии).

Утолщение стенок не приводит к снижению компенсационных напряжений, а повышенная жесткость трубопровода ведет к увеличению реактивных усилий, действующих на неподвижные опоры.

При проектировании трубопроводов обычно известны параметры теплоносителя и сортамент труб, из которых они должны быть изготовлены. Поэтому можно определить величины напряжений от внутреннего давления и изгибающих напряжений от весовой нагрузки. Известна также максимально допускаемая величина приведенного напряжения.

Зная эти величины и пользуясь уравнениями (XIII.64) и (XIII.69), можно найти допускаемую величину напряжения от компенсационных усилий.

Значения напряжений σ_k , вычисленные по изложенной методике для бесшовных труб по ГОСТ 8732—58 с толщиной стенки, которая принята по сортаменту труб тепловых сетей МВН 1225—59 и МВН 1233—59, равны: для самокомпенсирующихся трубопроводов и компенсаторов с рабочим давлением не выше 16 кг/см^2 и температурой не выше 200°C $\sigma_k = 1600 \text{ кг/см}^2$; для теплофикационных паропроводов с рабочим давлением от 15 до 21 кг/см^2 и температурой не выше 350°C $\sigma_k = 1000 \text{ кг/см}^2$; для паропроводов с рабочим давлением от 21 до 37 кг/см^2 и температурой не выше 425°C $\sigma_k = 600 \text{ кг/см}^2$.

Для других значений параметров среды напряжения σ_k следует определять по ранее приведенным формулам.

Компенсационные напряжения в отводах имеют местный характер; величина их меняется по высоте сечения и толщине стенки трубы. Поскольку компенсаторы тепловых сетей не испытывают многократных циклических нагружений, т. е. не работают на усталость, то компенсационные напряжения не представляют опасности для прочности даже и в том случае, если в отдельных точках поперечного сечения стенки трубы их величина достигнет предела текучести материала.

В последнее время особенно широкое распространение в тепловых сетях находят сварные отводы, которые при условном диаметре 400 мм и выше изготавливаются из электросварных труб по ГОСТ 4015—58.

Для самокомпенсирующихся трубопроводов и компенсаторов со сварными отводами могут быть рекомендованы следующие величины напряжений: для компенсаторов теплопроводов и паропроводов с рабочим давлением до 8 кг/см^2 и температурой теплоносителя не выше 200°C $\sigma_k = 1400 \text{ кг/см}^2$; для компенсаторов теплопроводов и паропроводов с рабочим давлением $10-12 \text{ кг/см}^2$ и температурой не выше 200°C $\sigma_k = 1000-1200 \text{ кг/см}^2$; для компенсаторов теплопроводов и паропроводов с рабочим давлением до 16 кг/см^2 и температурой не выше 200°C $\sigma_k = 800 \text{ кг/см}^2$.

Максимальные значения σ_k , полученные при расчетах компенсаторов, должны быть не выше приведенных значений.

6. РАСЧЕТ СИММЕТРИЧНЫХ П-ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Расчетная схема П-образного компенсатора приведена на рис. XIII.9, а.

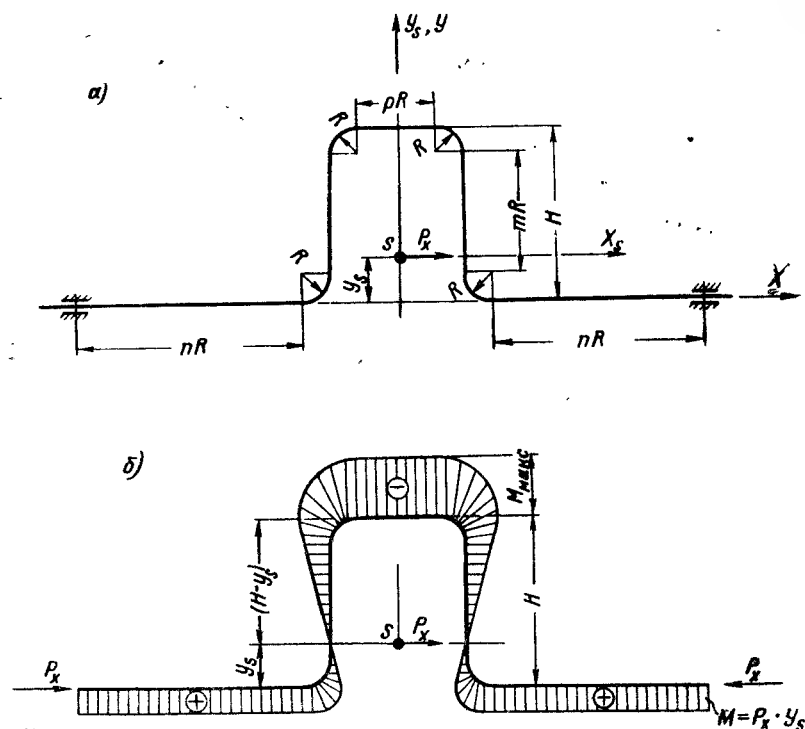


Рис. XIII.9. П-образный компенсатор
а — расчетная схема; б — эпюра изгибающих моментов

Приведенная длина оси компенсатора с включением в нее двух примыкающих участков трубопровода длиной nR каждый

$$L_{\text{пр}} = \left(2n + 2m + p + \frac{6,28}{k} \right) R. \quad (\text{XIII.70})$$

Упругий центр расположен на оси Y , поэтому $x_s = 0$. Величина y_s определяется уравнением

$$y_s = \frac{\left[\frac{6,28}{k} + 3,14 \frac{m}{k} + m^2 + 2m + p(m+2) \right] R^2}{\left(2n + 2m + p + \frac{6,28}{k} \right) R}. \quad (\text{XIII.71})$$

Момент инерции J_{xs} относительно оси X_s , проходящей через упругий центр компенсатора, равен

$$J_{xs} = \left[\frac{9,42}{k} + 10,28 \frac{m}{k} + 3,14 \frac{m^3}{k} + 0,67 m^3 + 2m^2 + 2m + p(m+2)^2 \right] R^3 - \frac{\left[\frac{6,28}{k} + 3,14 \frac{m}{k} + m^2 + 2m + p(m+2) \right]^2 R^3}{2n + 2m + p + \frac{6,28}{k}}. \quad (\text{XIII.72})$$

Усилие P_x

$$P_x = \frac{\Delta l_x EJ}{10^6 J_{xs}}. \quad (\text{XIII.73})$$

Здесь R дано в м, а Δl_x — в см.

Изгибающий момент в верхней точке компенсатора

$$M_{\text{макс}} = P_x (H - y_s). \quad (\text{XIII.74})$$

Изгибающий момент в сечении на стыке компенсатора с трубопроводом

$$M = P_x y_s. \quad (\text{XIII.75})$$

В большинстве случаев момент в этом сечении меньше, чем в верхней точке компенсатора.

Для компенсаторов, устанавливаемых на бесканальных теплопроводах, l_1 близко нулю и расчетные формулы имеют вид

$$L_{\text{пр}} = \left(2m + p + \frac{6,28}{k} \right) R m; \quad (\text{XIII.76})$$

$$y_s = \frac{\left[\frac{6,28}{k} + 3,14 \frac{m}{k} + m^2 + 2m + p(m+2) \right] R^2}{\left(2m + p + \frac{6,28}{k} \right) R}; \quad (\text{XIII.77})$$

$$J_{xs} = \left[\frac{9,42}{k} + \frac{10,28m}{k} + \frac{3,14m^2}{k} + 0,67 m^3 + \right. \\ \left. + 2m^2 + 2m + p(m+2)^2 \right] R^3 - \\ \frac{\left[\frac{6,28}{k} + \frac{3,14m}{k} + m^2 + 2m + p(m+2) \right]^2 R^3}{2m + p + \frac{6,28}{k}}. \quad (\text{XIII.78})$$

Усилие P_x и изгибающие моменты определяются по уравнениям (XIII.73)—(XIII.75). При $l_1=0$ жесткость компенсаторов возрастает, так как примыкающие к компенсаторам участки трубопровода не могут перемещаться в поперечном направлении вследствие сопротивления грунта.

При установке компенсаторов вплотную к неподвижным опорам силы P_x возрастают приблизительно на 35%, а напряжения изгиба — на 10—12%.

Расчет П-образного компенсатора, не имеющего прямых вставок между отводами (так называемого «омегаобразного» компенсатора), ведется по формулам

$$J_{xs} = \frac{R^3}{k} \left(9,42 - \frac{19,7}{kn + 3,14} \right); \quad (\text{XIII.79})$$

$$P_x = \frac{\Delta l_x E J k}{\left(9,42 - \frac{19,7}{kn + 3,14} \right) R^3}; \quad (\text{XIII.80})$$

$$M = P_x y_s = \frac{3,14 P_x R}{kn + 3,14}. \quad (\text{XIII.81})$$

Лирообразные компенсаторы, согнутые из труб, вследствие более сложного изготовления применяются значительно реже П-образных.

Расчетные формулы для лирообразного компенсатора, вылет которого равен $3,4 R$, а ширина $2,8 R$, имеют вид

$$J_{xs} = \frac{R^3}{k} \left[39,8 - \frac{129}{kn + 4,7} \right]; \quad (\text{XIII.82})$$

$$P_x = \frac{\Delta l_x E J k}{\left[39,8 - \frac{129}{kn + 4,7} \right] R^3}; \quad (\text{XIII.83})$$

$$M = \frac{8 P_x R}{kn + 4,7}. \quad (\text{XIII.84})$$

Расчет П-образных компенсаторов при помощи графиков. По формулам (XIII.70)—(XIII.74) составлены графики, приведенные в приложениях VII—XV, которые позволяют определить силы и напряжения в П-образных компенсаторах с достаточной точностью, не прибегая к трудоемким расчетам по формулам.

В основу графиков положены следующие исходные данные. Сортамент труб принят по ГОСТ 8732—58 и ГОСТ 4015—58 (расчетные характеристики труб приведены в приложении II). Учтены примыкающие к компенсатору участки трубопровода длиной $l_1=20R$ при гнутых отводах и $l_1=80R$ при сварных. Радиусы гнутых отводов приняты $R=4d_n$. Радиусы (эквивалентные) сварных отводов $R \approx d_n$. Коэффициенты k и коэффициенты концентрации напряжений m , значения которых приняты для труб с минимальной толщиной стенки, указаны также в приложении II.

Модуль упругости стали принят $E=2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$.

Графики могут быть использованы (с некоторым приближением) и для расчета компенсаторов, имеющих другие значения моментов инерции труб (для труб с другой толщиной стенки) и другие значения модуля упругости (например, для $t > 200^\circ\text{C}$). При этом следует вводить поправочный коэффициент, умножая величины сил и напряжений, полученных по графикам, на отношение $\frac{E_t J'}{E J}$ (где $E_t J'$ — действительные значения модуля упругости и момента инерции; $E J$ — значения модуля упругости и момента инерции, принятые в графиках).

При температурах нагрева, превышающих 200°C , E_t вычисляется по формуле

$$E_t = 2,1 \cdot 10^6 \left[1 - \left(\frac{t^\circ}{945} \right)^2 \right]. \quad (\text{XIII.85})$$

При температурах выше 250°C необходимо коэффициент линейного удлинения α_t стальных труб определять по формуле

$$\alpha_t = 11,2 \cdot 10^{-6} + 0,0053 \cdot 10^{-6} t. \quad (\text{XIII.86})$$

Величины прямых вставок компенсаторов между отводами:

гнутыми

$$pR = l_3 = 1,5 R;$$

сварными

$$pR = l_3 = 6 R.$$

При отступлениях от этих величин в результаты, полученные по графикам, необходимо вводить следующие поправки.

Для компенсаторов $d_n=250 \div 700 \text{ мм}$:

при $l_3=0$	m	$H=1,2$	H'
$l_3=2$	$\gg$	$H=1,1$	H'
$l_3=4$	$\gg$	$H=1$	H'
$l_3=10$	$\gg$	$H=0,8$	H'
$l_3=15$	$\gg$	$H=0,75$	H'
$l_3=20$	$\gg$	$H=0,65$	H'

Для компенсаторов $d_y = 800 \div 1000$ мм:

при $l_3 = 0$ м	$H = 1,2$ Н'
» $l_3 = 4$ »	$H = 1,1$ Н'
» $l_3 = 8$ »	$H = 1$ Н'
» $l_3 = 10$ »	$H = 0,95$ Н'
» $l_3 = 15$ »	$H = 0,9$ Н'
» $l_3 = 20$ »	$H = 0,8$ Н'
» $l_3 = 25$ »	$H = 0,75$ Н'

Примечание. Н' — вылет компенсатора, определяемый по графикам.

При существенном увеличении толщины стенок труб по сравнению с сортаментом труб для тепловых сетей значительно изменяется величина коэффициента k и графики становятся непригодными для пользования. В этих случаях необходим аналитический расчет компенсаторов.

Графики, приведенные в приложениях, позволяют решать следующие основные задачи, часто встречающиеся при проектировании тепловых сетей:

а) по температурному удлинению участков трубопровода и их диаметру определять вылет П-образных компенсаторов с гнутыми или сварными отводами;

б) по известным размерам компенсаторов определять силы, действующие на неподвижные опоры трубопровода;

в) по известным размерам компенсаторов и величине температурного удлинения участков трубопровода проверять действующие в компенсаторах напряжения σ_k .

В соответствии с этими задачами разработано три различных типа графиков.

Графики приложений VII—XI служат для определения величин вылетов компенсаторов в зависимости от температурных удлинений участков трубопроводов и величин σ_k . Графики составлены для гнутых и сварных отводов. При определении величин вылетов учтена предварительная холодная растяжка на 50%.

Графики приложений XII—XIII служат для определения сил, действующих на неподвижные опоры трубопроводов при $\Delta l_x = 1$ см.

Графики приложений XIV—XV в зависимости от вылетов компенсаторов и диаметров дают возможность определить напряжения σ_k при $\Delta l_x = 1$ см.

Примеры расчета с использованием графиков

1. Проверить пригодность П-образного компенсатора с гнутыми отводами из бесшовных труб $d_y = 250$ мм; вылетом $H = 5$ м; шириной $l_3 = 1,5R$ и $R = 1$ м для компенсации удлинения $\Delta l_x = 15$ см при давлении теплоносителя $p_0 = 16$ кг/см² и температуре 150°C.

По графику приложения XIV при $H = 5$ м $\sigma_k = 70$ кг/см², откуда искомая величина изгибающего напряжения равна

$$\sigma_k = 70 \cdot 15 = 1050 \text{ кг/см}^2.$$

В данном случае компенсирующая способность компенсатора недоиспользована, так как напряжение изгиба при давлении теплоносителя не выше 16 кг/см² и температуре 150°C может быть повышено до $\sigma_k = 1600$ кг/см². Следовательно, вылет компенсатора можно уменьшить. Уменьшенный вылет по графику приложения XIV для значения $\sigma_k' = \frac{1600}{15} = 106$ кг/см² равен 3,6 м.

Если тот же компенсатор выполнен со сварными отводами, то проверка его пригодности производится по графику приложения XV.

Искомая величина изгибающих напряжений равна

$$\sigma_k = 135 \cdot 15 = 2025 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, при сварных отводах вылет компенсатора $H = 5$ м недостаточен.

Определим необходимый вылет компенсатора со сварными отводами, удовлетворяющий условию $\sigma_k = 1600$ кг/см².

Для значения $\sigma_k' = \frac{1600}{15} = 106$ кг/см² по приложению XV $H = 6$ м.

Таким образом, применение компенсатора со сварными отводами вместо гнутых потребовало увеличения вылета в 1,65 раза.

2. Определить минимальный вылет и компенсационное усилие P_x П-образного компенсатора со сварными отводами из труб $d_y = 800$ мм для компенсации удлинения $\Delta l_x = 12,5$ см при $\sigma_k = 800$ кг/см². Компенсатор устанавливается с растяжкой на 50%.

По графику приложения XI для $\Delta l_x = 12,5$ см определяем $H = 8,6$ м.

Сила P_x определяется по графику приложения XIII. Для $H = 8,6$ м $P_x' = 140$ кг; следовательно, $P_x = 140 \cdot \frac{12,5}{2} = 868$ кг.

Пример расчета при помощи формул

Определить компенсационные усилия и изгибающие напряжения в компенсаторе $d_y = 400$ мм при $l_1 = 500$ см; $l_2 = 250$ см; $l_3 = 50$ см; $R = 50$ см; $k = 0,1$; $m = 2,9$; $J = 20300$ см⁴ и $\Delta l_x = 5,9$ см. Участки $l_1 = 500$ см, что меньше $80R$, принятой при составлении графиков; поэтому в данном случае графиками пользоваться нельзя.

Значения коэффициентов: $n = \frac{l_1}{R} = \frac{500}{50} = 10$; $m = \frac{l_2}{R} = \frac{250}{50} = 5$;
 $p = \frac{l_3}{R} = \frac{50}{50} = 1$; $H = l_2 + 2R = 350$ см.

Приведенная длина равна

$$L_{пр} = 2 \cdot 500 + 2 \cdot 250 + 50 + \frac{6,28 \cdot 50}{0,1} = 4690 \text{ см.}$$

Координата упругого центра y_s вычисляется по формуле (XIII.71):

$$y_s = \frac{\left[\left(\frac{6,28}{0,1} + \frac{3,14 \cdot 5}{0,1} + 5^2 + 2 \cdot 5 + (5 + 2) \right) \right] 50^2}{4690} = 139,5 \text{ см.}$$

Линейный момент инерции относительно оси X_s определяется по формуле (XIII.72):

$$J_{xs} = \left[\frac{9,42}{0,1} + \frac{10,28 \cdot 5}{0,1} + \frac{3,14 \cdot 5^2}{0,1} + 0,67 \cdot 5^3 + 2 \cdot 5^2 + \right. \\ \left. + 2 \cdot 5 + (5 + 2)^2 \right] 50^3 - 4690 \cdot 139,5^2 = 107,2 \text{ см}^4.$$

Усилие P_x , согласно формуле (XIII.73),

$$P_x = \frac{5,9 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 300}{10^6 \cdot 107,2} = 2340 \text{ кг}.$$

Максимальный изгибающий момент по формуле (XIII.74)

$$M = 2340 (350 - 139,5) = 492 \cdot 500 \text{ кгсм}.$$

Изгибающее напряжение в сечении на изогнутом участке (отводах компенсатора) с учетом коэффициента концентрации $m_1=2,9$ равно

$$\sigma_k = \frac{492 \cdot 500 \cdot 21,3 \cdot 2,9}{20 \cdot 300} = 1500 \text{ кг/см}^2.$$

Если направляющие опоры удалить на расстояние $l_1=80 R=4000 \text{ см}$, то, согласно графику приложения XIII, упругая сила для $H=3,5 \text{ м}$, $d_y=400 \text{ мм}$ и $\Delta l_x=5,9 \text{ см}$ равна

$$P_x = 240 \cdot 5,9 = 1415 \text{ кг}.$$

Таким образом, близко расположенные направляющие опоры приводят к увеличению жесткости компенсаторов.

7. РАСЧЕТ S-ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Односторонний вылет П-образных компенсаторов часто создает большие препятствия к прокладке трубопроводов в городских условиях под уличными проездами с большим количеством параллельно уложенных коммуникаций.

В этом случае рационально заменить их S-образными компенсаторами, которые имеют в среднем вылет меньше на 40%, чем П-образные. Еще большие преимущества S-образные компенсаторы имеют при воздушной прокладке трубопроводов на мачтах. Они лучше вписываются в габариты опорных конструкций мачт, не требуют устройства больших консолей и не вызывают односторонней передачи весовой нагрузки.

Недостатком S-образных компенсаторов является увеличение количества отводов (шесть вместо четырех), что вызывает некоторое удорожание изготовления и увеличивает гидравлические потери в трубопроводах.

Расчетная схема S-образного компенсатора представлена на рис. XIII.10.

Вследствие симметричности рассчитываемого компенсатора упругий центр совпадает с центром тяжести (точка s). Поэтому $x_s=0$ и $y_s=0$.

Моменты инерции J_{xs} , J_{ys} и J_{xys} вычисляются по следующим формулам:

$$J_{xs} = 0,67 R^3 + 18,1 \frac{R^3}{k} + 4 m R^3 + 20,5 \frac{m R^3}{k} + 6,28 \frac{m^2 R^3}{k} + 4 m^2 R^3 + 1,3 m^3 R^3; \quad (\text{XIII.87})$$

$$J_{ys} = 27,2 \frac{R^3}{k} + 8 m R^3 + 6 n^2 R^3 + 0,66 n^3 R^3; \quad (\text{XIII.88})$$

$$J_{xys} = -6,28 \frac{m R^3}{k} - 12,7 \frac{R^3}{k} - 4 m R^3 - 2 m^2 R^3. \quad (\text{XIII.89})$$

Силы P_x и P_y определяются по уравнениям (XIII.39) и (XIII.40).

Наибольшие изгибающие моменты находятся в сечениях, близких к вершинам (рис. XIII.11).

Для определения опасного сечения, в котором действует максимальный изгибающий момент, воспользуемся графическим методом.

По вычисленным значениям P_x и P_y определяется равнодействующая $Q = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$. Затем в произвольном масштабе она наносится на чертеж компенсатора в центре тяжести s (в начале координат).

Проводя по направлению силы Q прямую линию и измеряя расстояния от этой прямой до оси компенсатора, легко построить эпюру изгибающих моментов, так как в любой точке компенсатора изгибающий момент равен

$$M = Qh,$$

где h — плечо силы Q относительно любой заданной точки, лежащей на оси компенсатора.

Для опасных сечений величина h имеет максимальную величину. Такими сечениями являются точки a (см. рис. XIII.11).

Если считать, что опасные сечения расположены на вершинах компенсатора, то максимальный изгибающий момент определяется по уравнению

$$M = P_x (2R + mR) - P_y R. \quad (\text{XIII.90})$$

Компенсирующая способность S-образных компенсаторов с гнутыми отводами возрастает при увеличении коэффициента n от 0 до 10; дальнейшее увеличение n не сказывается на снижении усилий и изгибающих моментов в компенсаторе.

Значительнее увеличивается компенсирующая способность с увеличением вылета, т. е. с ростом коэффициента m , определяющего величину прямой вставки. Формулы для определения сил P_x и P_y , максимальных изгибающих моментов и напряжений при $n=10$ и различных величинах m имеют следующий вид:

а) при $m=0$

$$P_x = \frac{\Delta l_x E J}{0,67 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{27}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.91})$$

$$-P_y = \frac{\Delta l_x E J}{26,8 \cdot 10^6 R^3 \left(76 + \frac{1}{k} + 2,8 k\right)}; \quad (\text{XIII.92})$$

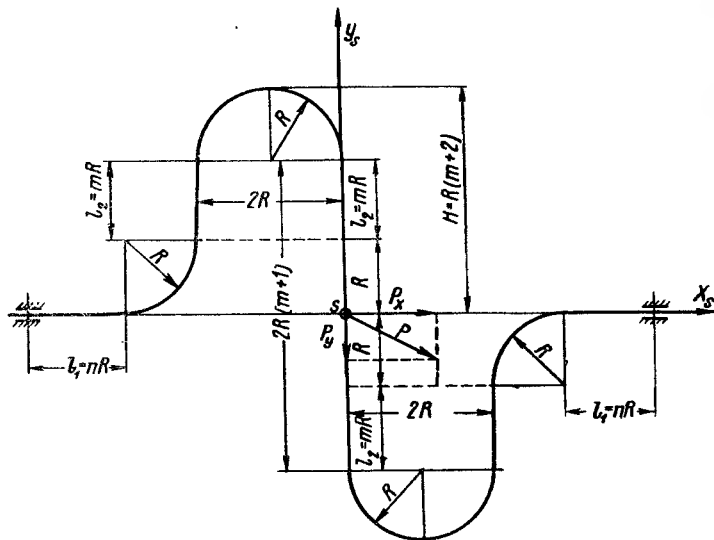


Рис. XIII.10. Расчетная схема симметричного S-образного компенсатора

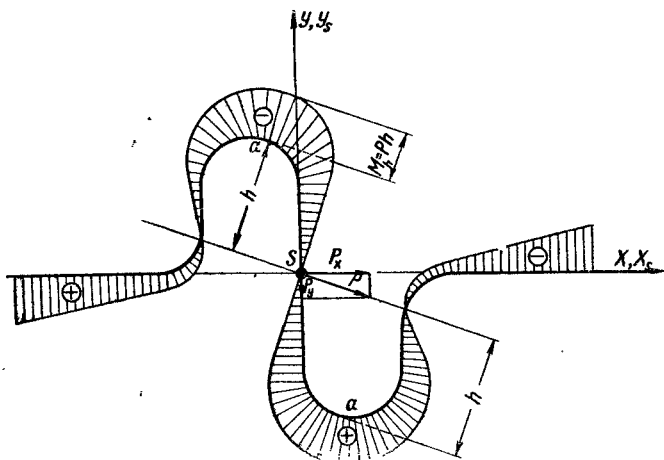


Рис. XIII.11. Эпюра изгибающих моментов симметричного S-образного компенсатора

б) при $m = 1$

$$P_x = \frac{\Delta I_x EJ}{10,6 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{4,2}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.93})$$

$$-P_y = \frac{\Delta I_x EJ}{18,9 \cdot 10^6 R^3 (2,2 + 765k)}; \quad (\text{XIII.94})$$

в) при $m = 2$

$$P_x = \frac{\Delta I_x EJ}{37,6 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{2,5}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.95})$$

$$-P_y = \frac{\Delta I_x EJ}{25 \cdot 10^6 R^3 (2,2 + 765k)}; \quad (\text{XIII.96})$$

г) при $m = 3$

$$P_x = \frac{\Delta I_x EJ}{89 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{1,52}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.97})$$

$$P_y \approx 0;$$

д) при $m = 4$

$$P_x = \frac{\Delta I_x EJ}{174 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{1,15}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.98})$$

$$P_y \approx 0.$$

Здесь ΔI_x дано в см; R — в м; E — в кг/см²; J — в см⁴; P_x и P_y — в кг.

Максимальный изгибающий момент для всех случаев равен

$$M_{\max} = P_x (2 + m) R - P_y R. \quad (\text{XIII.99})$$

Максимальное компенсационное напряжение

$$\sigma_k = \frac{M_{\max}}{W} m_1. \quad (\text{XIII.100})$$

В приложении XVI приведен график для определения напряжений σ_k в зависимости от ΔI_x в S-образных компенсаторах при $m=0$ и $n=0$.

При бесканальной укладке трубопроводов грунт препятствует поперечным перемещениям труб, изгибающимся совместно с компенсатором, поэтому длину участка l_1 необходимо приравнять нулю, т. е. $n=0$.

Для таких компенсаторов при $m=0$ силы P и P_y определяются по формулам

$$P_x = \frac{\Delta l_x EJ}{0,67 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{18,2}{k}\right)}; \quad (\text{XIII.101})$$

$$-P_y = \frac{\Delta l_y EJ}{1,43 \cdot 10^6 R^3 \left(1 + \frac{18,2}{k}\right)}. \quad (\text{XIII.102})$$

Максимальный изгибающий момент определяется по уравнению (XIII.99).

При воздушной прокладке трубопроводов на шариковых, катковых, подвесных опорах или тягах, которые имеют малое сопротивление трения и не оказывают поэтому больших препятствий поперечным перемещениям трубопровода при изгибе, длину участка l_1 следует приравнять бесконечно большой величине; для $m=0$ сила P_x определяется по формуле (XIII.91).

Величина силы P_x при бесканальной прокладке трубопровода больше, чем в аналогичном компенсаторе трубопровода, допускающем перемещения труб в поперечном направлении, как это следует из уравнений (XIII.101) и (XIII.91), примерно в 1,5 раза. Изгибающие моменты и напряжения возрастут при этом в 2,8 раза, а компенсирующая способность уменьшится во столько же раз. Для увеличения компенсирующей способности S-образных компенсаторов при постоянном вылете увеличивают его ширину путем вставки между отводами прямых горизонтальных участков (рис. XIII.12), параллельных оси трубопровода.

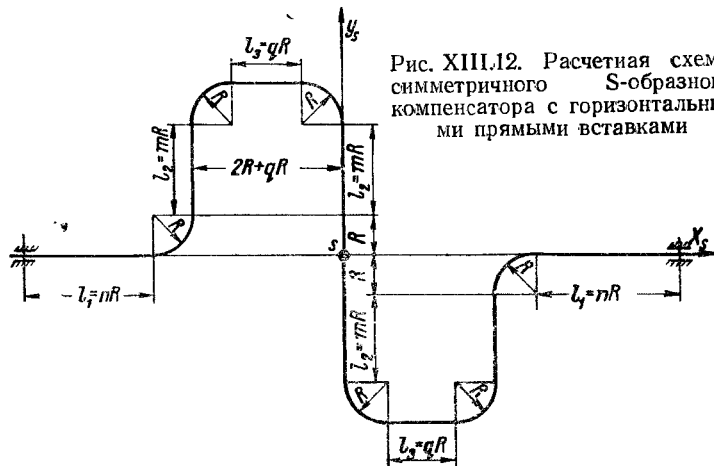


Рис. XIII.12. Расчетная схема симметричного S-образного компенсатора с горизонтальными прямыми вставками

Моменты инерции в этом случае равны

$$J_{xs} = 1,5 \frac{R^3}{k} + 0,67 R^3 + \frac{m^3 R^3}{3} + 4mR^3 \left(\frac{m}{2} + 1\right)^2 + 6,3 \frac{R^3}{k} (m + 1,6)^2 + 2qR^3 (m + 2)^2; \quad (\text{XIII.103})$$

$$J_{ys} = \frac{n^3 R^3}{6} + 2nR^3 \left(\frac{n}{2} + 3 + q\right)^2 + 1,25 \frac{R^3}{k} + 3,14 \frac{R^3}{k} (1,4q + 2,8)^2 + 2R^3 \left(m + \frac{q}{4}\right) (2 + q)^2; \quad (\text{XIII.104})$$

$$J_{xys} = -\frac{2R^3}{k} \left[5 + 3,1q + 2mqk + q \frac{mk}{2} (m + q) \right] - 2mR^3 \left[\frac{3,1}{k} + 2 + m + \frac{1,6q}{k} + \frac{q}{m} (2 + q) \right]. \quad (\text{XIII.105})$$

Силы P_x и P_y определяются по уравнениям (XIII.39) и (XIII.40).

Максимальный изгибающий момент равен

$$M_{\max} = P_x R (2 + m) - P_y R \left(1 + \frac{q}{2}\right). \quad (\text{XIII.106})$$

Возможны несимметричные решения S-образных компенсаторов (рис. XIII.13).

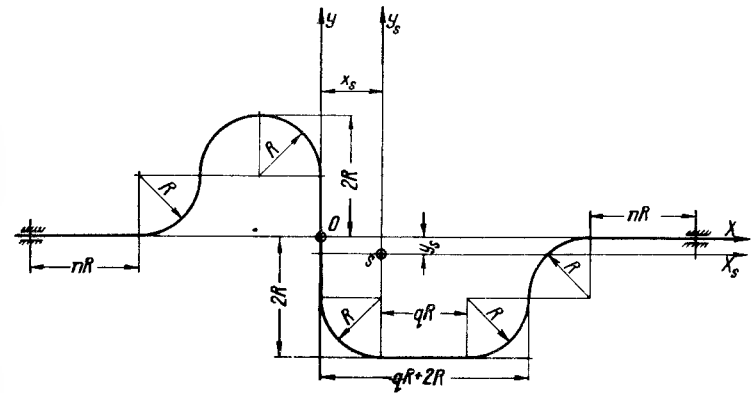


Рис. XIII.13. Расчетная схема несимметричного S-образного компенсатора

При $n=3$ координаты упругого центра равны

$$y_s = \frac{2qR^2}{8R + qR + 9,4 \frac{R}{k}}; \quad (\text{XIII.107})$$

$$x_s = \frac{3,14q \frac{R^3}{k} + 4qR^2 + \frac{q^2 R^2}{2}}{8R + qR + 9,4 \frac{R}{k}}. \quad (\text{XIII.108})$$

Моменты инерции относительно осей X_s, Y_s определяются по формулам

$$J_{xs} = 0,67 R^3 + 18,1 \frac{R^3}{k} + 4qR^3; \quad (\text{XIII.109})$$

$$J_{ys} = 27,2 \frac{R^3}{k} + 126 R^3 + 28 qR^3 + 12,5q \frac{R^3}{k} + 4q^2 R^3 + q^3 \frac{R^3}{3} - \frac{2R^3 \left(0,78 \frac{q}{k} + q + \frac{q^2}{8} \right)^2}{1 + \frac{q}{8} + \frac{1,18}{k}}; \quad (\text{XIII.110})$$

$$J_{xys} = -12,7 \frac{R^3}{k} - 2,6 qR^3 - 2,6 q \frac{R^3}{k} - q^2 R^3. \quad (\text{XIII.111})$$

Усилия P_x и P_y находятся по предыдущему.

Изгибающие моменты в опасных сечениях компенсатора равны:

в верхней части

$$M_{\max} = P_x \cdot 2R - P_y (R + x_s); \quad (\text{XIII.112})$$

в нижней части

$$M_{\max} = P_x \cdot 2R - P_y \left(R + q \frac{R}{2} - x_s \right). \quad (\text{XIII.113})$$

Пример расчета

Определить компенсационные усилия и максимальное напряжение, действующее в S-образном компенсаторе со следующими размерами (рис. XIII.10): $d_n = 325$ мм; $J = 10\,800$ см⁴; $W = 640$ см³; $R = 1,3$ м (гнутые отводы); $k = 0,25$; $m_1 = 1,7$; $l_1 = nR = 10 \cdot 1,3 = 13$ м; $l_2 = mR = 1 \cdot 1,3 = 1,3$ м.

Расчетное температурное удлинение трубопровода $\Delta l_t = 25$ см. Предусмотрена предварительная растяжка компенсатора при его установке на 50% Δl_t .

Поэтому $\Delta l_x = 0,5 \cdot 25 = 12,5$ см; $\Delta l_y = 0$.

Компенсационные усилия при $m=1$ определяются по формулам (XIII.93) и (XIII.94):

$$P_x = \frac{12,5 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 10\,800}{10,6 \cdot 10^6 \cdot 1,3^3 \left(1 + \frac{4,2}{0,25} \right)} = 650 \text{ кг};$$

$$P_y = - \frac{12,5 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 10\,800}{18,9 \cdot 10^6 \cdot 1,3^3 (2,2 + 765 \cdot 0,25)} = -34 \text{ кг}.$$

Максимальный изгибающий момент, согласно уравнению (XIII.99),

$$M_{\max} = 650(2 + 1)1,3 - 34 \cdot 1,3 = 2093 \text{ кгм}.$$

Компенсационное напряжение

$$\sigma_k = \frac{209\,300 \cdot 1,7}{640} = 555 \text{ кг/см}^2.$$

Сравним полученные величины сил и напряжений с действующими в идентичном S-образном компенсаторе без прямой вставки, т. е. $m=0$.

Значения расчетных усилий в компенсаторе без прямой вставки равны $P_x = 1680$ кг и $P_y = 57$ кг; напряжение $\sigma_k = 1140$ кг/см².

Таким образом, уменьшение вылета компенсатора на 1,3 м привело к увеличению сил в 2,5 раза и напряжения в 1,8 раза.

При введении горизонтальной вставки $l_3 = 2$ м $R = 2,6$ м и неизменном вылете расчетные усилия равны: $P_x = 1530$ кг и $P_y = 72$ кг; напряжение $\sigma_k = 980$ кг/см².

Как и следовало ожидать, увеличение ширины компенсатора на 2,6 м очень мало повлияло на величины сил и напряжений.

8. РАСЧЕТ Л-ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

При проектировании магистральных участков теплопроводов, связывающих разводящие районные теплосети с источниками тепла — ТЭЦ, находящимися от них на расстоянии 5—6 км и более, важно снизить гидравлические потери. Для этих участков преимущество принадлежит компенсаторам Л-образной формы (рис. XIII.14,а), так как они обладают меньшим гидравлическим сопротивлением по сравнению с П-образными.

Другим преимуществом этих компенсаторов является уменьшение общей длины сварных швов и, следовательно, уменьшение стоимости изготовления по сравнению со сварными П-образными компенсаторами.

Расчетная схема Л-образного компенсатора представлена на рис. XIII.14,б.

Приведенная длина оси компенсатора равна

$$L_{пр} = 2nR + 3,14 \frac{R}{k} + 2mR + pR. \quad (\text{XIII.114})$$

Координата упругого центра

$$y_s = \frac{R}{k} \cdot \frac{(0,85 + 1,09m) + (mR + pR)(0,58 + 0,7m)}{2n + \frac{3,14}{k} + 2m + p}. \quad (\text{XIII.115})$$

Момент инерции относительно оси X_s

$$J_{xs} = 0,25 m^3 R^3 + m^2 R^3 \left(0,4 + \frac{0,77}{k} \right) + m R^3 \left(0,16 + \frac{1}{k} \right) + 0,37 \frac{R^3}{k} + pR^3 (0,58 + 0,7m)^2 - L_{пр} y_s^2. \quad (\text{XIII.116})$$

Усилие P_x определяется по формуле

$$P_x = \frac{EJ\Delta l_x}{10^6 J_{xs}} \quad (\text{XIII.117})$$

Наибольший изгибающий момент, действующий в вершине компенсатора, равен

$$M_{\max} = P_x (0,71 mR + 0,58 R - y_s). \quad (\text{XIII.118})$$

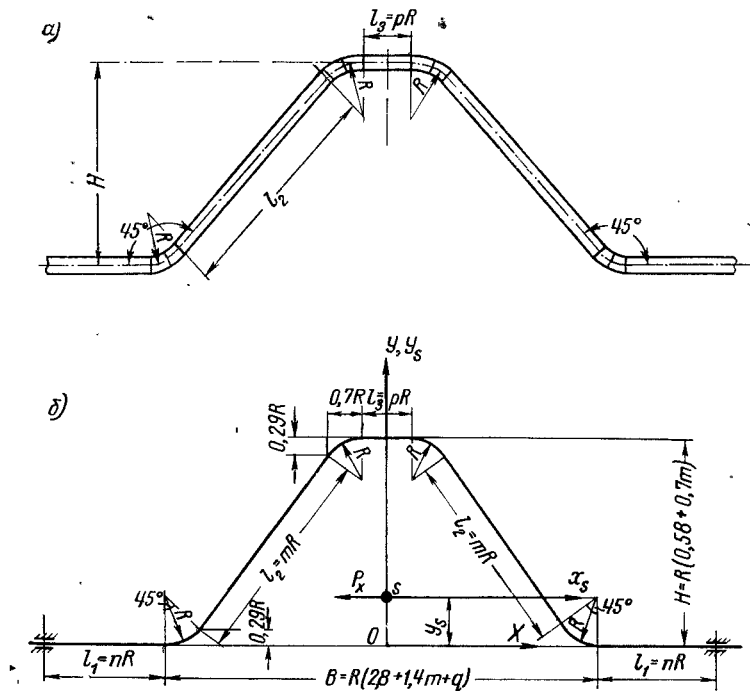


Рис. XIII.14. Л-образный компенсатор
а — монтажная схема; б — расчетная схема

Изгибающий момент на прямом участке в стыке с трубопроводом

$$M = P_x y_s. \quad (\text{XIII.119})$$

Длины прямых участков трубопровода, участвующих в работе компенсатора (совместно изгибающихся), принимаются: $l_1 = 20R$ при гнутых отводах; $l_1 = (40 \div 80) R$ при сварных отводах.

Для упрощения расчетов по выбору размеров Л-образных компенсаторов составлены графики, приведенные в приложениях XVII—XVIII.

На графиках представлены значения напряжений σ_k в зависимости от величины вылета при перемещениях концов компенсатора $\Delta l_x = 1 \text{ см}$.

При составлении графиков принят размер прямой вставки в вершине компенсатора $l_3 = 2R$.

Там, где это возможно, с целью уменьшения вылета следует увеличивать ширину компенсаторов, принимая $l_3 = (6 \div 8) R$. При этом вылеты компенсаторов, полученные по графику, можно уменьшить на 10—15%.

Для компенсации одинакового удлинения Δl_t при равных диаметрах и равных радиусах отводов Л-образные компенсаторы по сравнению с П-образными требуют увеличения вылета в среднем на 20%.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ В САЛЬНИКОВЫХ КОМПЕНСАТОРАХ

Определение величин сил трения в сальниках наряду с внутренними неуравновешенными усилиями, действующими на неподвижные опоры, является обязательным при проектировании тепловых сетей с сальниковыми компенсаторами.

Нами предложен способ определения силы трения в сальниках, который хорошо согласуется с результатами опытов. Он основан на определении в качестве исходного фактора действительной величины сжатия набивки при затягивании шпилек.

Для этого используется известная зависимость между усилием в затягиваемых болтах и усилием, прилагаемым к гайке гаечным ключом. Эта зависимость имеет вид

$$Q = 1,14 R, \quad (\text{XIII.120})$$

где Q — усилие, приложенное к гайке в плоскости, перпендикулярной оси болта, в $\kappa\Gamma$;

R — осевая сила натяжения болта в $\kappa\Gamma$.

При гаечном ключе нормализованной длины, равной $15d$, и усилии, создаваемом рукой $N = 15 \kappa\Gamma$, получим крутящий момент, равный

$$M = 15 dN = 225 d.$$

Тогда усилие, приложенное к гайке, равно

$$Q = \frac{225d}{0,5d} = 450 \kappa\Gamma,$$

где $0,5d$ — плечо силы Q .

Сила натяжения болта на основании зависимости (XIII.120) равна

$$R = \frac{Q}{1,14} = \frac{450}{1,14} \approx 400 \kappa\Gamma.$$

Удельное сжатие набивки в сальнике равно суммарному усилию, создаваемому одновременным натяжением всех установленных болтов, деленному на площадь поперечного сечения набивки сальника.

Сила трения в сальнике компенсатора зависит от удельного сжатия набивки, площади контакта набивки и стакана компенсатора, а также коэффициента трения.

Формула для определения силы трения в сальнике компенсатора имеет вид

$$P_k = \frac{400n}{F} \pi D_{ст} \delta \mu, \quad (XIII.121)$$

где n — число болтов в сальнике;

F — площадь поперечного сечения набивки;

$D_{ст}$ — диаметр стакана компенсатора;

δ — толщина слоя набивки;

μ — коэффициент трения.

Для сальникового компенсатора при $D_{ст} = 26,7$ см; $\delta = 4,5$ см; $n = 8$; $F = 140$ см² и $\mu = 0,15$ (набивка асбестовым шнуром) сила трения по формуле (XIII.121) равна

$$P_k = \frac{400 \cdot 8}{140} 3,14 \cdot 26,7 \cdot 4,5 \cdot 0,15 = 1300 \text{ кг}.$$

При испытании этого сальникового компенсатора на стенде сила P_k оказалась равной: при слабой затяжке сальника 700 кг, при сильной 1100 кг.

Глава XIV. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИЯМ И МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Специфичны и крайне неблагоприятны условия работы теплоизоляционных конструкций подземных тепловых сетей, укладываемых в непроходных каналах или бесканально.

Эти условия характеризуются:

- 1) переменным температурно-влажностным режимом окружающей среды (воздуха в канале или грунта), который зависит от режима и температурного графика работы тепловой сети;
- 2) изменениями гидрогеологического режима на трассе прокладки (переменным уровнем грунтовых вод).

Условия работы изоляционного материала зависят также от способа прокладки (канальная или бесканальная), от воздушной прослойки между поверхностью тепловой изоляции и ограждающей конструкцией.

В связи с этим теплоизоляционные конструкции и материалы должны удовлетворять ряду требований, важнейшие из которых следующие:

- а) иметь возможно низкий процент водопоглощения;
- б) обладать гидрофобностью (свойство поверхностного водоотталкивания);
- в) обладать прочностью на сжатие не менее 5 кг/см² и на растяжение не менее 0,5 кг/см²;
- г) обладать прочностью, которая в процессе многократного увлажнения и сушки не должна снижаться более чем на 20% по сравнению с первоначальной прочностью в сухом состоянии;
- д) коэффициент теплопроводности не должен резко увеличиваться в процессе эксплуатации (от изменения структуры материала или его увлажнения) и превышать 0,15 ккал/м · ч · град;
- е) металлические крепления теплоизоляционных элементов (скорлуп, сегментов, матов) не должны быть подвержены коррозии;

ж) при отсутствии сцепления материала теплоизоляции с поверхностью труб последние должны быть обязательно защищены от коррозии;

з) допускается сцепление теплоизоляционного материала с поверхностью труб (например, армопенобетонные оболочки бесканальных теплопроводов Ленинградской теплосети);

и) в теплоизоляционном материале не должно содержаться в водорастворимом виде химических соединений коррозионно-агрессивных по отношению к металлу труб;

к) категорически запрещается употребление в качестве теплоизоляционной засыпки асбозурита, асбестита, котельных шлаков, опилок, камышита и других органических материалов, подверженных гниению (кроме торфа при условии отсутствия в нем серы и при температуре труб не более 110°C);

л) не допускается применение ваты с содержанием SO_3 более 3%; такая вата может быть применена только для изоляции трубопроводов, не подвергающихся увлажнению (в проходных туннелях, на эстакадах).

В подземных прокладках основными типами теплоизоляционных конструкций являются:

а) подвесные конструкции из жестких элементов — сегментов и скорлуп — или из оберточных, мягких материалов в виде матов;

б) мастичные конструкции (в настоящее время применяемые редко);

в) засыпные: канальные и бесканальные с применением волокнистых (минеральная вата) и сыпучих материалов в виде крошки;

г) монолитные в виде оболочек, служащие одновременно изоляционными и несущими (строительными) конструкциями.

Наиболее прогрессивными типами конструкций изоляции являются монолитные и сборные из готовых изделий (получилиндров). Они в наибольшей степени пригодны для организации индустриального изготовления и монтажа на теплопроводах.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Тепловая изоляция подземных теплопроводов почти всегда находится в увлажненном состоянии. Поэтому при проектировании в расчетах по определению тепловых потерь трубами нельзя ограничиваться лабораторными данными значений коэффициента теплопроводности того или иного материала, обычно указываемой в справочниках для воздушно-сухого или абсолютно сухого состояния материала.

В связи с этим в приводимых в табл. XIV.1 характеристиках ряда материалов указываются величины коэффициентов теплопроводности в зависимости от влажности (в %), которые опре-

Таблица XIV.1
Характеристики основных теплоизоляционных материалов для подземных теплопроводов

Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Объемный вес в $кг/м^3$	Коэффициент теплопроводности материала λ в $ккал/м \cdot ч \cdot град$ для $t = 20^\circ C$ в зависимости от влажности W % в (по объему)				Вологосодержание в % (по объему)	Предел прочности в $кг/см^2$		Максимально допустимая температура t в $^\circ C$
			абсолютно сухого	10	15	25		на сжатие	на растяжение	
Минеральная вата	ГОСТ 4640—61	{ 100 150 250	0,038	0,07	0,08	0,11	100	2—5	0,05—0,1	600
Маты прошивные в уплотненном состоянии	ТУ Центрэнерго-ляции		0,04	0,07	0,08	0,11	100	2—3	0,05—0,1	600
Изделия из минеральной ваты, скорлупы для трубопроводов $\lambda_y = 50 \div 350$ мм с пропиткой синтетическими смолами	То же	150—200	0,06	0,09	0,11	0,15	100	2—3	0,05—0,1	600
То же, на фенольной связке	»									
Скорлупы из минеральной ваты для трубопроводов $\lambda_y = 100 \div 250$ мм (оштукатуренные и неоштукатуренные)	»	125—200 240	0,06—0,1 0,072	То же	»	»	То же	2—3	0,06—0,1 0,07	200—300 500
Маты из стекловолокна (прошитые)	ГОСТ 2245—52	100—170	0,051	0,07	0,08	0,11	100	2—3	0,05—0,1	450
Ячеистая керамика (блоки)	ВТУ ВНИИ новых строительных материалов	400	0,1	Не исследовался			2—10	12	1	900
Пеностекло (блоки)	ТУ МПСМ—159	{ 200 300 400	0,06 0,07 0,09	0,085	То же	»	5—8 5—8 5—8	20 35 60	На изгиб 2 3,5 6	300 300 300
Пеностекло (крошка, отходы производства)	—	150—250	0,06—0,07	Не исследовался			5—8	20	На изгиб 0,5	400
Изделия (скорлупы, сегменты) из неавтоклавно-бетона	ГОСТ 5742—51	400	0,095	0,12	0,14	0,17	50	5	8—10	400
Автоклавный пенобетон	По специальным ТУ Ленинэнерго	{ 280 350	0,07 0,09	0,08 0,1	0,1 0,13	0,14 0,16	30	10—120	0,8—1,2	400

делены лабораторией теплофикации ВТИ имени Ф. Э. Дзержинского. Приводятся также данные по влагопоглощению, определенные через 5 суток нахождения материала в затопленном состоянии в воде с температурой от 15 до 25°C.

3. НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

К новым конструкциям и материалам для изоляции подземных теплопроводов относятся: бесканальная прокладка в песчано-цементной засыпке, предложенная Б. В. Лопатыным и А. А. Ляминам; усовершенствованная бесканальная прокладка теплопроводов с гравийной засыпкой, разработанная ОРГРЭС; прокладка теплопроводов в оболочках из поликерамических блоков, разработанная совместно Рижским отделением института Теплоэлектропроект и Рижской теплосетью; прокладка в оболочках из керамзитобетона и керамзитобитума, разработанная ВНИИГ им. Веденеева и бесканальная прокладка теплопроводов в самоспекающейся гидрофобной теплоизоляции из асфальтоизола, разработанная лабораторией теплофикации ВТИ имени Ф. Э. Дзержинского.

Прокладка в песчано-цементной засыпке осуществляется следующим образом: трубы, уложенные в траншею, окружаются слоем минеральной ваты; поверх нее укладывается толь; затем изолированные трубы засыпаются песчано-цементной смесью, которая после затвердения образует вокруг труб механически прочную оболочку. Главное преимущество этого способа заключается в упрощении строительных работ и низкой стоимости по сравнению с прокладкой в бетонных каналах.

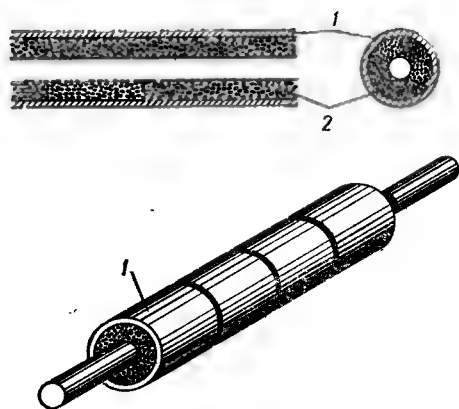


Рис. XIV.1. Поликерамические оболочки для бесканальных теплопроводов
1 — наружная оболочка; 2 — пенокерамика

Поликерамические оболочки Рижской теплосети (рис. XIV.1) изготавливаются в заводских условиях. Основной теплоизоляционный слой состоит из вспученной глины. Наружным слоем являются гончарные трубы, используемые в качестве огнеупорных форм, в которых происходит вспучивание и обжиг глины. Этот слой образует внешнюю оболочку повышенной прочности, предохраняющую ячеистую керамику от повреждений при ударах. Блоки имеют цилиндрическую фор-

му с высверленным продольным отверстием; они надеваются на изолируемые трубы и склеиваются специальным клеем, изготовленным на эпоксидных смолах, также стойким к одновременному воздействию влаги и температуры.

По предварительным данным этот материал превосходит пеностекло по снижению водопоглощения и почти не уступает ему по прочности и теплоизолирующим свойствам.

Заслуживают внимания начатые опытные работы по использованию керамзита для получения механически прочных теплоизоляционных оболочек для бесканальных теплопроводов.

Как известно, керамзит отличается малым процентом водопоглощения и в этом отношении почти не уступает пеностеклу и пенокерамике. Однако пока еще в промышленных масштабах не удалось освоить технологию изготовления облегченного керамзита с объемным весом $\gamma < 400 \text{ кг/м}^3$, который обладал бы достаточно хорошими теплоизолирующими свойствами.

Большие перспективы для самого широкого внедрения в строительство тепловых сетей имеет самоспекающаяся теплоизоляционная засыпка — асфальтоизол¹. Применение этой новой бесканальной конструкции и материала позволит существенно снизить начальные затраты по сооружению теплопроводов благодаря резкому упрощению строительного-изоляционных работ и удешевлению изоляционного материала, изготовляемого из дешевого сырья — естественного битума (асфальтита), подвергающегося простейшей технологической обработке. Значительно повысится долговечность теплопроводов благодаря надежной защите труб от увлажнения грунтовой влагой и низкой электропроводности асфальтоизола, являющегося хорошей защитой от блуждающих электрических токов.

Производство работ по изолированию труб отличается простотой рабочих операций. В разработанные траншеи засыпается в два приема асфальтоизол: первоначально слоем 100—150 мм, после чего на бетонные подкладки укладываются трубопроводы; затем трубы засыпаются асфальтоизолом так, чтобы над трубой был слой 100—150 мм (рис. XIV.2). Засыпка уплотняется при помощи вибратора. Чтобы избежать излишней затраты материала, применяется временная опалубка или передвижной ящик без дна. После уплотнения изоляционного порошка производится немедленная засыпка траншеи грунтом и асфальтирование проезжей части улиц.

Изоляционная оболочка образуется на трубах при их нагреве до максимальной температуры теплоносителя (в большинстве водяных тепловых сетей, равной 150°C). Прогрев должен продолжаться не менее 35 ч. Изоляционная оболочка (рис. XIV.3)

¹ Авторское свидетельство на способ изготовления асфальтоизола по классу 80в 25/14 № 163940 Комитета по делам изобретений от 1 июня 1962 г. выдано А. А. Скворцову и М. Г. Чудаеву.

состоит из трех зон: плотного слоя 1, окружающего наружную поверхность труб, пористого слоя 2, служащего основной теплоизоляцией, и наружного слоя 3, состоящего из неспекшегося порошка, являющегося дополнительной теплоизоляцией.

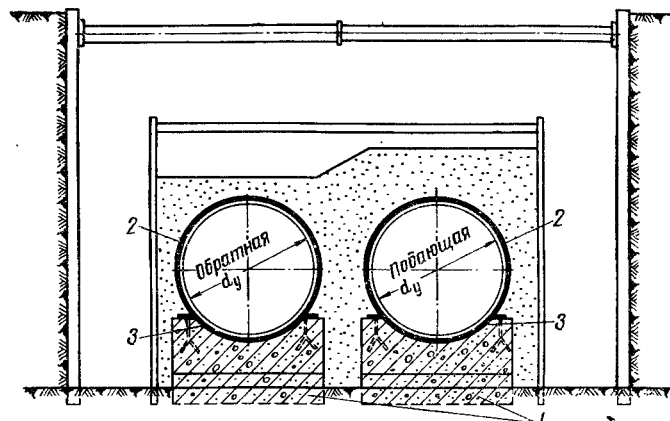


Рис. XIV.2. Типовой чертеж бесканальных теплопроводов с самоспекающейся изоляцией — асфальтоизол
1 — бетонные подкладки; 2 — обмазка труб мазутом перед засыпкой; 3 — металлическая подкладка

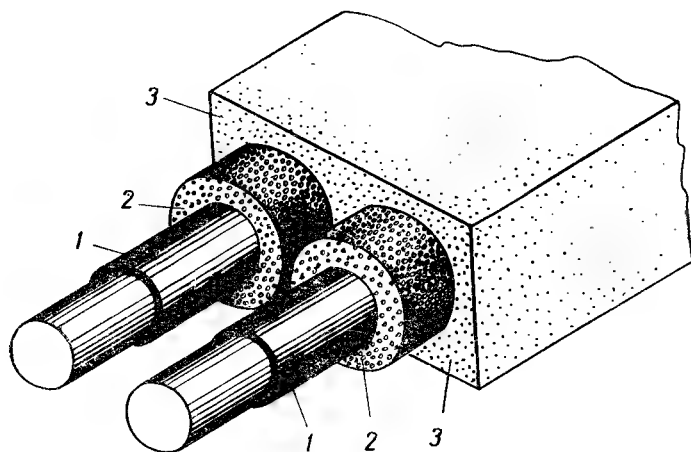


Рис. XIV.3. Самоспекающаяся изоляция на трубах

Первый слой, отличающийся отсутствием пористости, имеет объемный вес $\gamma=1100 \text{ кг/м}^3$ и коэффициент теплопроводности $\lambda=0,12 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$, обладает водонепроницаемостью, не

электропроводен, поэтому он служит надежной антикоррозийной защитой наружной поверхности стальных труб. Толщина этого слоя может достигать 10—20 мм, что регулируется температурным режимом нагрева при спекании и изменением состава асфальтоизола.

Второй слой из спекшихся частиц с $\gamma=600 \div 675 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,1 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ имеет замкнутые поры, отличается гидрофобностью и малой водопоглощаемостью (не более 4%).

Третий слой состоит из порошкообразной засыпки с $\gamma=500 \div 600 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda=0,07 \div 0,08 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$. Он также обладает гидрофобностью и полным отсутствием способности к капиллярному всасыванию влаги.

Удельное омическое сопротивление слоя тепловой изоляции равно 8500 ом на 1 м^2 , что гарантирует хорошую электрическую изоляцию стальных труб от окружающего грунта и, следовательно, их надежную защиту от действия блуждающих токов.

Опытные исследования показали, что по сравнению со многими другими теплоизоляционными материалами асфальтоизол обладает более высокой степенью гидрофобности, что позволяет получить эффективную защиту стальных труб от почвенной коррозии.

В нагретом состоянии асфальтоизол становится весьма пластичным и не разрушается при больших растягивающих напряжениях. В охлажденном состоянии асфальтоизол становится хрупким, легко раскалывается и дробится на куски.

При температурах подающих труб, близких к максимальным, т. е. к 150°C , их поверхность покрывается тонким слоем смазки — минеральными маслами, входящими в состав асфальтита (исходного материала для асфальтоизола). Это в значительной степени, как показали опыты, уменьшает силы трения при температурном удлинении трубопроводов.

Изоляции из самоспекающихся порошков для подземных бесканальных трубопроводов успешно применяются за рубежом.

В США, например, производство самоспекающихся порошков Гильсулэйт было организовано более 10 лет назад фирмой «Гильсонит Компани». В ФРГ в 1963—1964 гг. изоляционные порошки «Manolith» со свойствами, аналогичными свойствам асфальтоизола и Гильсулэйта, начала изготавливать фирма «Маннеманн».

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ЗНАЧЕНИЯ α , r_0 , γ_0 и A_0
ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО И
ТАВРОВОГО СЕЧЕНИЙ ИЗ БЕТОНА И СТАЛИ ЛЮБЫХ МАРОК

α	r_0	γ_0	A_0	α	r_0	γ_0	A_0
0,01	10	0,995	0,01	0,29	2,01	0,855	0,248
0,02	7,12	0,99	0,02	0,3	1,98	0,85	0,255
0,03	5,82	0,985	0,03	0,31	1,95	0,845	0,262
0,04	5,05	0,98	0,039	0,32	1,93	0,84	0,269
0,05	4,53	0,975	0,048	0,33	1,9	0,835	0,275
0,06	4,15	0,97	0,058	0,34	1,88	0,83	0,282
0,07	3,85	0,965	0,067	0,35	1,86	0,825	0,289
0,08	3,61	0,96	0,077	0,36	1,84	0,82	0,295
0,09	3,41	0,955	0,085	0,37	1,82	0,815	0,301
0,1	3,24	0,95	0,095	0,38	1,8	0,81	0,309
0,11	3,11	0,945	0,104	0,39	1,78	0,805	0,314
0,12	2,98	0,94	0,113	0,4	1,77	0,8	0,32
0,13	2,88	0,935	0,121	0,41	1,75	0,795	0,326
0,14	2,77	0,93	0,13	0,42	1,74	0,79	0,332
0,15	2,68	0,925	0,139	0,43	1,72	0,785	0,337
0,16	2,61	0,92	0,147	0,44	1,71	0,78	0,343
0,17	2,53	0,915	0,155	0,45	1,69	0,775	0,349
0,18	2,47	0,91	0,164	0,46	1,68	0,77	0,354
0,19	2,41	0,905	0,172	0,47	1,67	0,765	0,359
0,2	2,36	0,9	0,18	0,48	1,66	0,76	0,365
0,21	2,21	0,895	0,188	0,49	1,64	0,755	0,37
0,22	2,26	0,89	0,196	0,5	1,63	0,75	0,375
0,23	2,22	0,885	0,203	0,51	1,62	0,745	0,38
0,24	2,18	0,88	0,211	0,52	1,61	0,74	0,385
0,25	2,14	0,875	0,219	0,53	1,6	0,735	0,39
0,26	2,1	0,87	0,226	0,54	1,59	0,73	0,394
0,27	2,07	0,865	0,234	0,55	1,58	0,724	0,4
0,28	2,04	0,86	0,241				

$$M = A_0 b h_0^2 R_H; \alpha = \frac{x}{h_0} = \frac{F_a R_a}{b h_0 R_H}; h_0 = r_0 \sqrt{\frac{M}{b R_H}}; F_a = \frac{M}{\gamma_0 h_0 R_a};$$

$$F_a = a b h_0 \frac{R_H}{R_a}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ

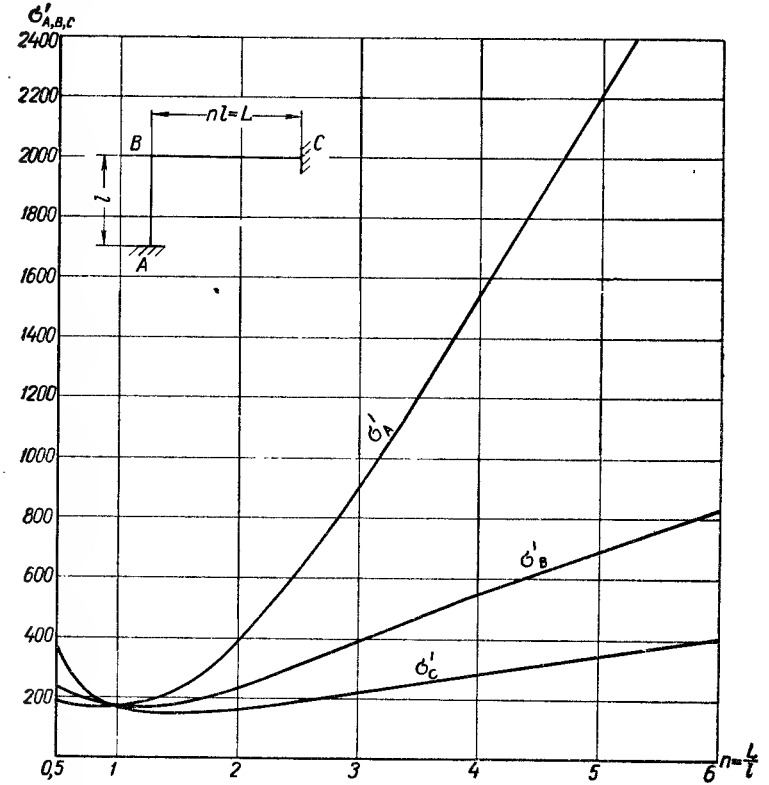
Условный диаметр трубы d_y в мм	d_H в мм	d_B в мм	Толщина стенки трубы δ в мм	Площадь сечения стенки F в см ²	Момент инерции I в см ⁴	Момент сопротивления напряжения W в см ³	Вес γ в кг				Радиус гнутых отводов R в мм	Условный радиус сварных отводов R_B в мм	$h = \frac{\delta R}{r^2}$ для гнутых отводов $R = d_y$	для сварных отводов $R = d_y$		Кoeffи- циент Кармана k для отводов	Кoeffи- циент концент- рации ак- сиальных напряже- ний m_1	Кoeffи- циент концент- рации ак- сиальных напряже- ний m_2	ГОСТ на трубы	
							трубы	вода, заполняю- щей трубу	тепловой изо- ляции	суммарный				для гнутых отводов $R = d_y$	для сварных отводов $R = d_y$					
50	57	51	3	5,1	18,6	6,5	4	2,2	12,9	19	230	—	0,95	—	—	—	—	—	ГОСТ 8732—58	
70	76	70	3	6,88	45,9	12,1	5,5	3,8	17,5	27	300	—	0,71	0,44	—	—	—	—		
80	89	82	3,5	9,4	84	18,9	7,4	5,3	19	31	360	150	0,64	0,39	0,155	1,1	2,6	—		
100	108	100	4	13,1	177	32,8	10,2	7,8	27,5	45	430	175	0,51	0,17	0,15	0,42	1,2	2,7		—
125	133	125	4,5	22	652	82	12,8	12	31	56	530	200	0,48	0,15	0,13	0,31	1,4	2,9		—
150	159	150	5	40	2279	208	17,7	17,7	38	72	640	250	0,46	0,14	0,12	0,29	1,5	3,05	ГОСТ 4015—58	
200	219	207	6	58	5177	379	31	34	48	113	870	300	0,43	0,12	0,11	0,28	1,6	3,3		—
250	273	259	7	80	10000	616	46	53	62	161	1100	350	0,41	0,11	0,11	0,26	1,6	3,5		—
300	325	309	8	104	17600	935	62	75	67	204	1300	400	0,37	0,1	0,1	0,25	1,7	3,7		—
350	377	359	9	14500	27500	136	82	101	76	259	1400	450	0,19	0,05	0,06	0,22	2,4	5,8		—
400	426	414	10	80	20300	820	62	134	83	280	1700	500	0,23	0,06	0,07	0,14	2,6	5,8	—	
450	478	463	11	88	20700	955	72	132	91	288	1900	500	0,27	0,07	0,08	0,17	2,9	7,8	—	
		466	12	89	20700	865	58	172	91	321	1900	500	0,17	0,04	0,05	0,1	2,9	7,8	—	
		464	13	100	28700	1200	81	169		341	1900	500	0,2	0,06	0,07	0,12	2,6	5,8	—	

Основной диаметр трубы d_y в мм	d_n в мм	d_p в мм	Толщина стенки трубы δ в мм	Площадь сечения стенок F в см ²	Момент инерции J в см ⁴	Момент сопротивления на W_{ϕ} в см ³	Вес 1 пог. м в кг				Радиус гнутья отводов R в мм	Условный радиус сварных отводов R_0 в мм	$n = \frac{\delta R}{r^2}$		Коэфф-циент Кармана k для отводов		Коэфф-циент концентрации напряжений m_1 для отводов	ГОСТ на трубы
							трубы	воды, заполняю- щей трубу	тепловой изо- ляции	суммарный			для гнутых отводов $R=4d_y$	сп	для сварных отводов $R=2d_y$	гнутых	сварных	
500	529	517	6	99	33 700	1270	77	210	99	(386)	2100	550	0,18	0,05	0,11	0,06	2,8	5,8
600	630	515	7	116	39 090	1480	90	208	123	397	650	650	0,21	0,05	0,13	0,06	2,55	5,8
700	720	618	8	120	57 300	1820	92	300	123	515	750	750	—	0,04	—	—	—	5,8
800	820	616	8	137	66 500	2150	107	298	138	529	850	850	—	0,05	—	—	—	5,8
900	920	614	9	156	75 600	2400	122	296	138	542	950	950	—	0,05	—	—	—	5,8
1000	1020	612	9	176	84 680	2690	138	294	138	555	1050	1050	—	0,06	—	—	—	5,8
1100	1120	706	10	190	99 600	2750	140	391	154	652	1150	1150	—	0,04	—	—	—	5,8
1200	1220	702	10	201	113 100	3150	158	388	171	666	1250	1250	—	0,05	—	—	—	5,8
		806	11	218	127 100	3520	160	387	188	683			—	0,04	—	—	—	5,8
		802	11	229	147 000	3590	180	512	221	806			—	0,05	—	—	—	5,8
		906	12	240	167 000	4080	202	518	250	822			—	0,03	—	—	—	5,8
		902	12	258	188 600	4600	224	504	250	838			—	0,03	—	—	—	5,8
		1004	13	286	210 000	4580	246	615	250	973			—	0,03	—	—	—	5,8
		1002	13	317	234 000	5100	269	639	250	993			—	0,04	—	—	—	5,8
		1100	14	348	267 300	5811	298	795	250	1012			—	0,03	—	—	—	5,8
		1102	14	379	304 000	6640	328	790	250	1183			—	0,03	—	—	—	5,8
		1202	15	404	348 000	7164	328	785	250	1202			—	0,04	—	—	—	5,8
		1200	15	418	404 740	7936	328	790	250	1222			—	0,03	—	—	—	5,8
		1104	15	418	442 000	8150	328	962	250	1429			—	0,03	—	—	—	5,8
		1100	15	418	540 000	9650	328	954	250	1449			—	0,03	—	—	—	5,8
		1202	15	418	590 000	9700	328	1104	250	1623			—	0,03	—	—	—	5,8
		1200	15	418	695 900	11 410	328	1103	250	1651			—	0,03	—	—	—	5,8
		1198	15	418	763 600	12 500	328	1102	250	1680			—	0,04	—	—	—	5,8

ГОСТ
4015—58

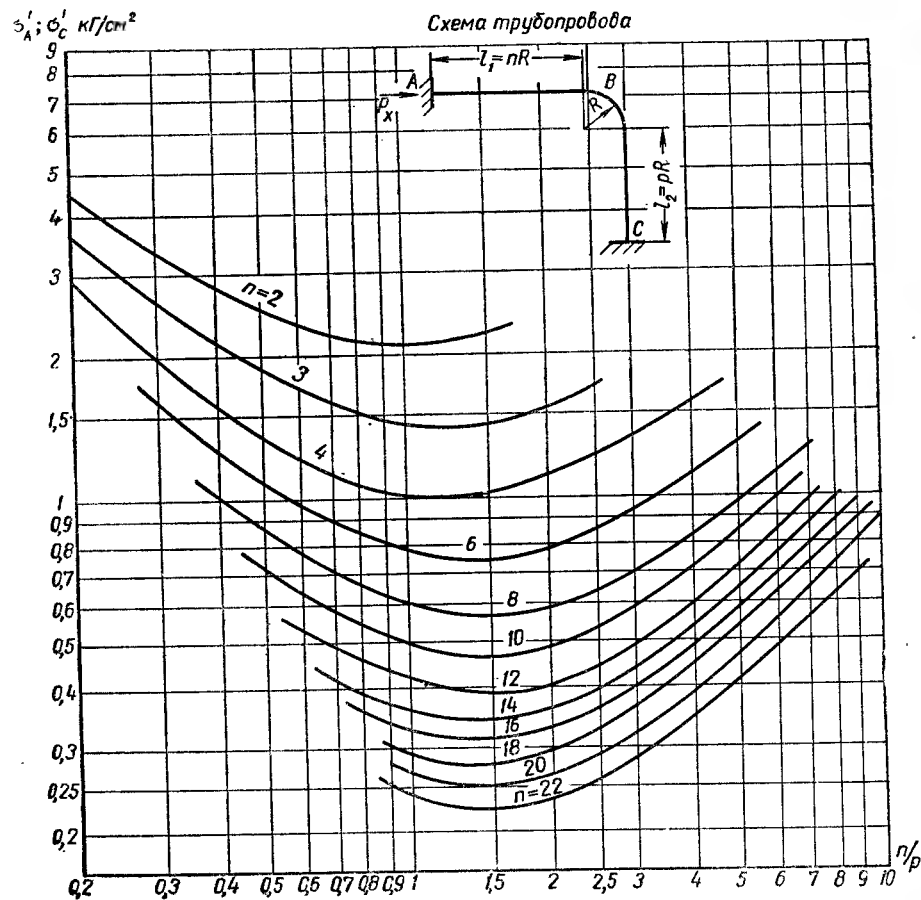
ПРИЛОЖЕНИЕ III

График для определения напряжений в точках А, В и С
Г-образных теплопроводов с прямым углом без учета
гибкости отводов



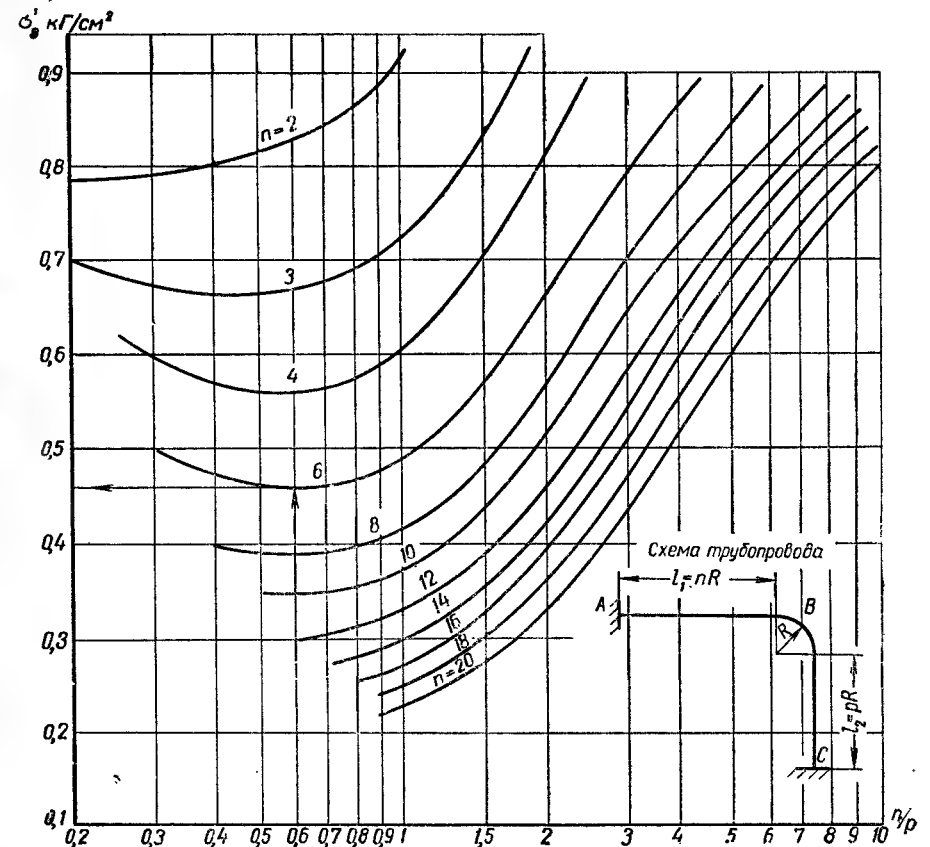
ПРИЛОЖЕНИЕ IV

График для определения напряжений в точках A и C Г-образных теплопроводов с учетом гибкости отводов



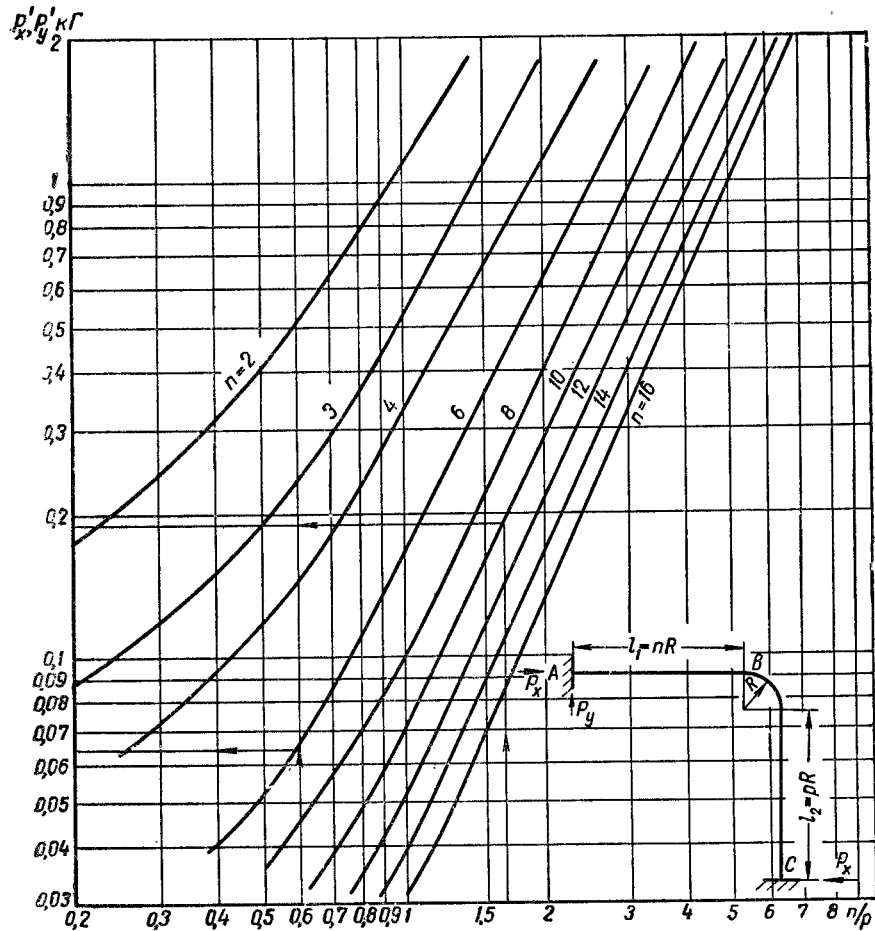
ПРИЛОЖЕНИЕ V

График для определения напряжений в точке B Г-образных теплопроводов с учетом гибкости отводов



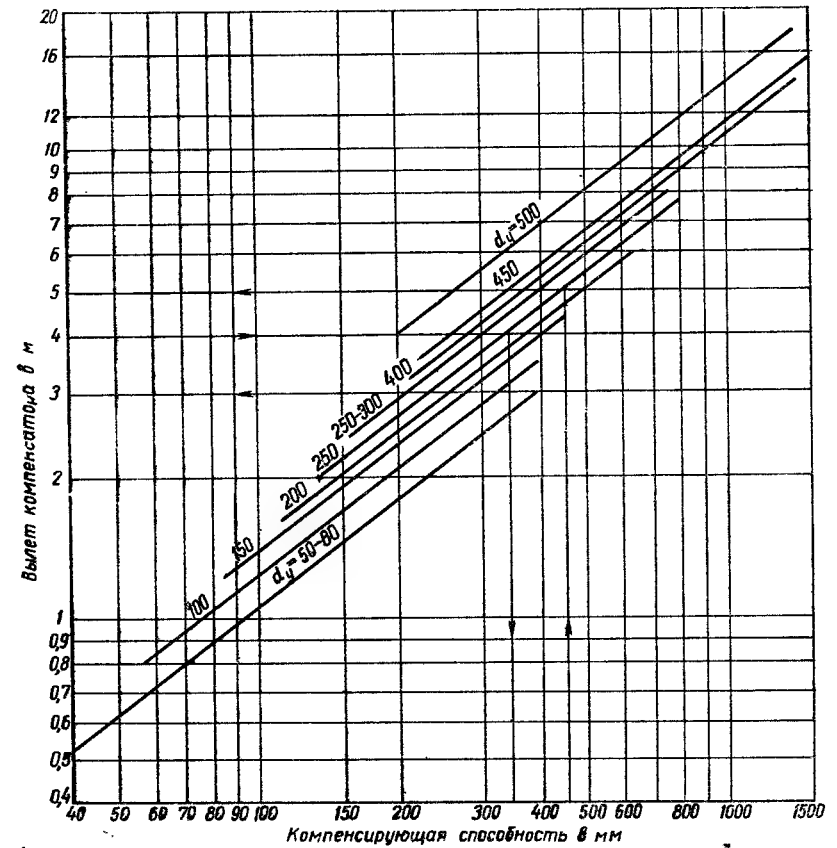
ПРИЛОЖЕНИЕ VI

График для определения усилий в Г-образных теплопроводах с учетом гибкости отводов



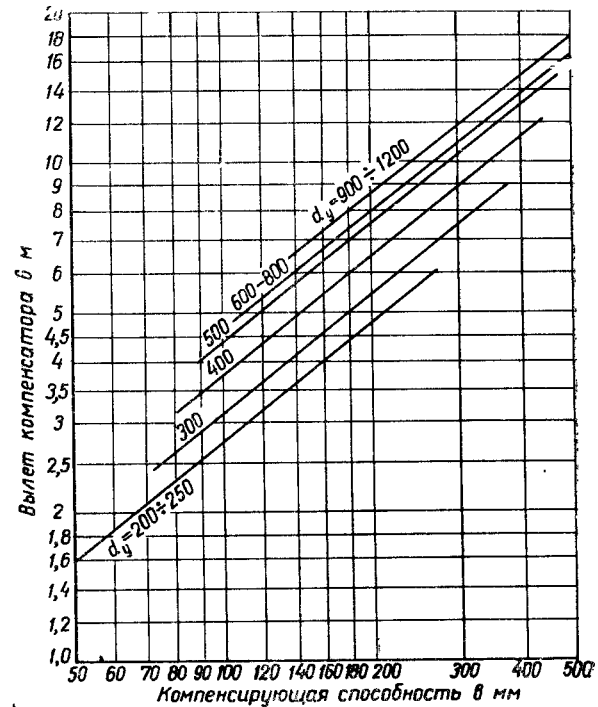
ПРИЛОЖЕНИЕ VII

График для определения вылетов П-образных компенсаторов с гнутыми отводами при $R=4d_n$ и $\sigma_k = 1600 \text{ кг/см}^2$ (учтена предварительная растяжка на 50%)



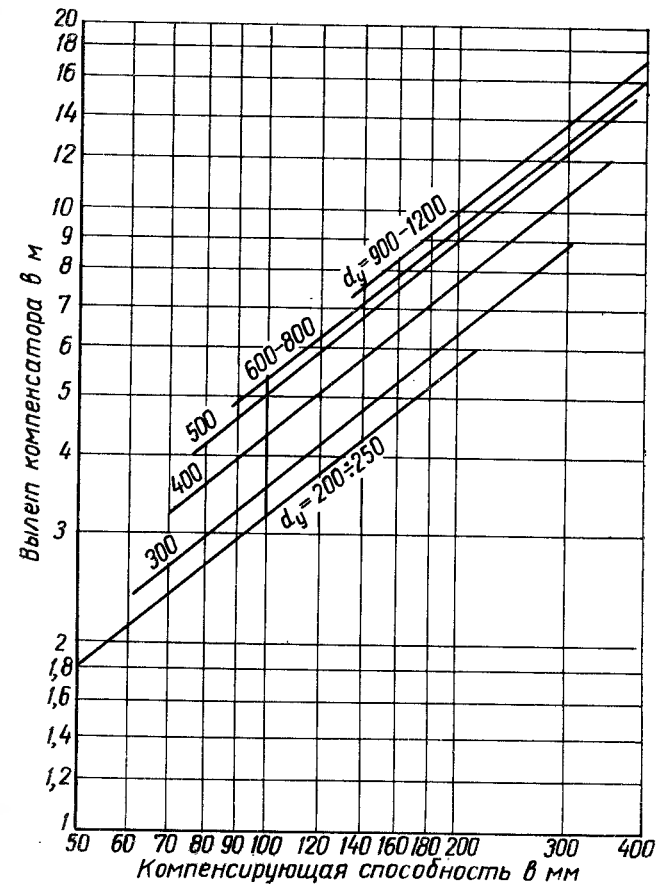
ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

График для определения вылетов П-образных компенсаторов со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\sigma_k = 1400 \text{ кг/см}^2$ (учтена предварительная растяжка на 50%)



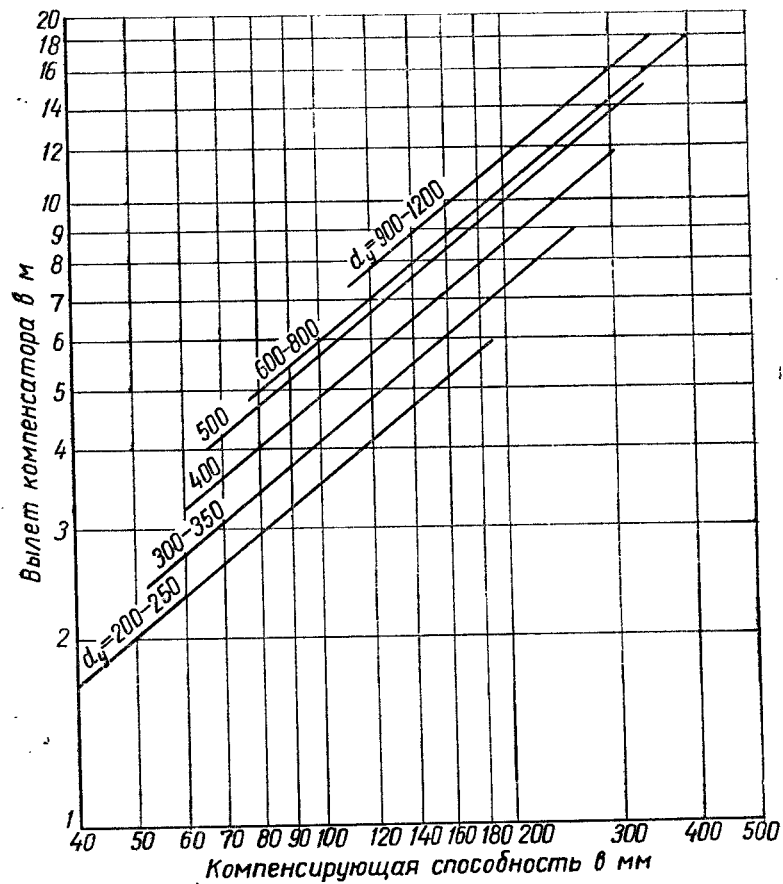
ПРИЛОЖЕНИЕ IX

График для определения вылетов П-образных компенсаторов со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\sigma_k = 1200 \text{ кг/см}^2$ (учтена предварительная растяжка на 50%)



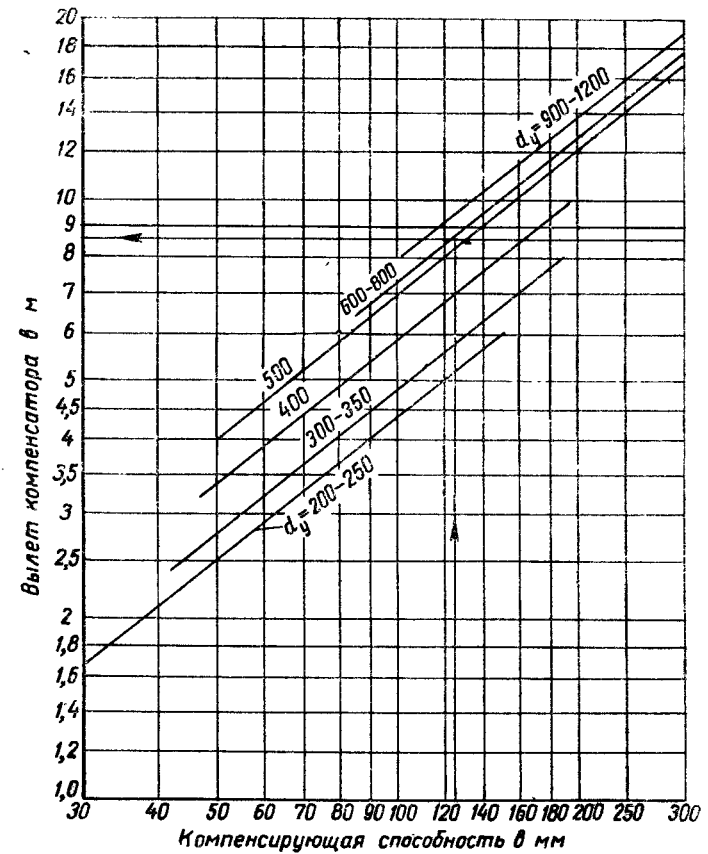
ПРИЛОЖЕНИЕ X

График для определения вылетов П-образных компенсаторов со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\sigma_k = 1000 \text{ кг/см}^2$ (учтена предварительная растяжка на 50%)



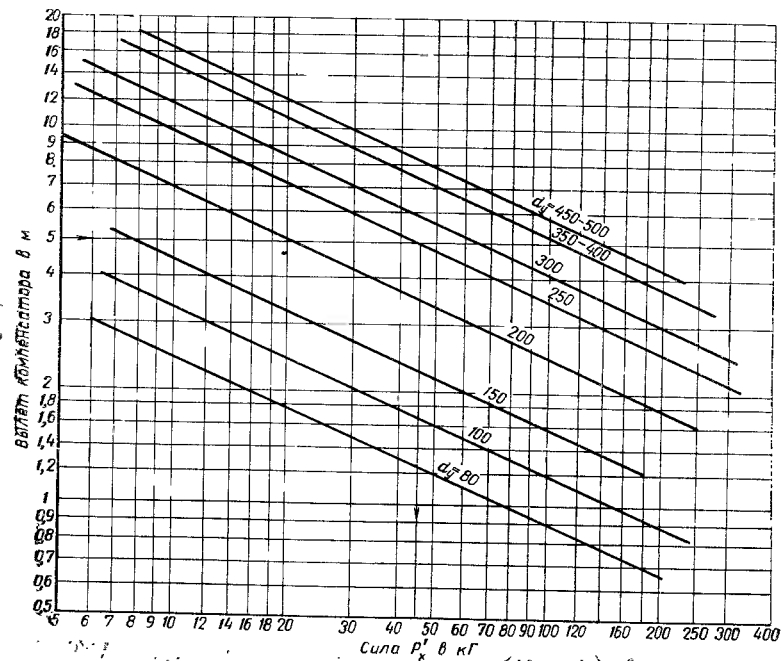
ПРИЛОЖЕНИЕ XI

График для определения вылетов П-образных компенсаторов со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\sigma_k = 800 \text{ кг/см}^2$ (учтена предварительная растяжка на 50%)



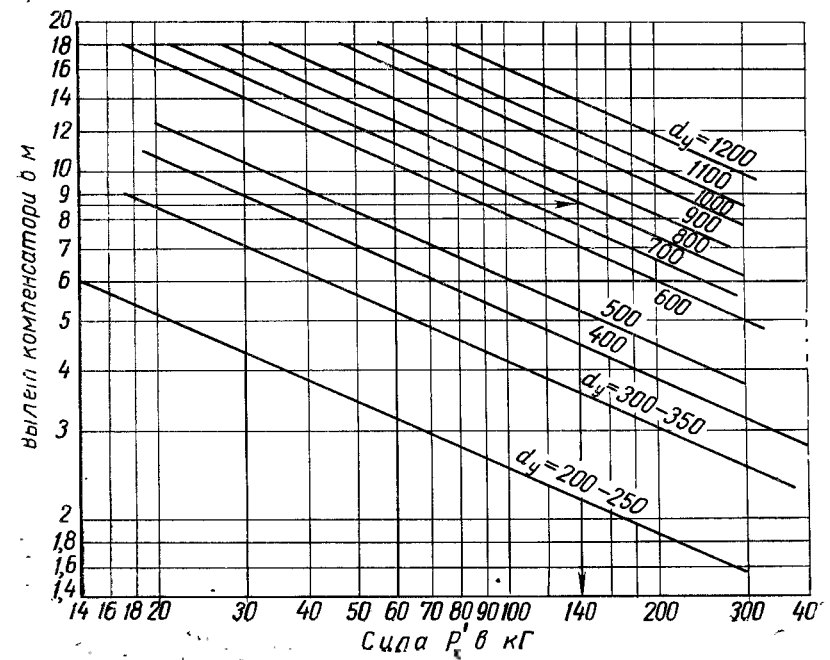
ПРИЛОЖЕНИЕ XII

График для определения компенсационных усилий
в П-образных компенсаторах $d_y = 50 \div 500$ мм
с гнутыми отводами при $R = 4 d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см



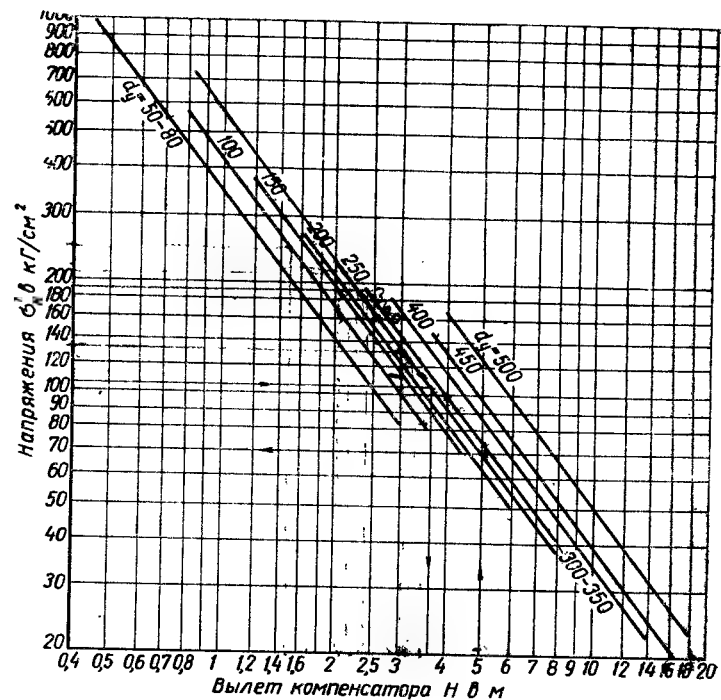
ПРИЛОЖЕНИЕ XIII

График для определения компенсационных усилий
в П-образных компенсаторах $d_y = 200 \div 1200$ мм
со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см



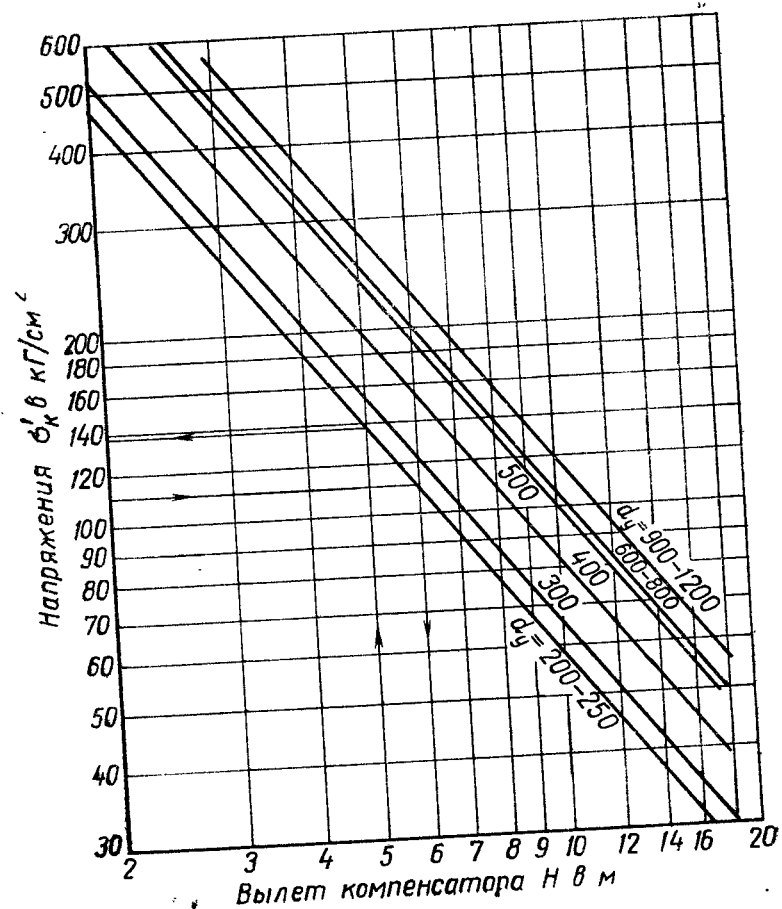
ПРИЛОЖЕНИЕ XIV

График для определения компенсационных напряжений
в П-образных компенсаторах
 $d_y = 50 \div 500$ мм с гнутыми отводами
при $R = 4d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см



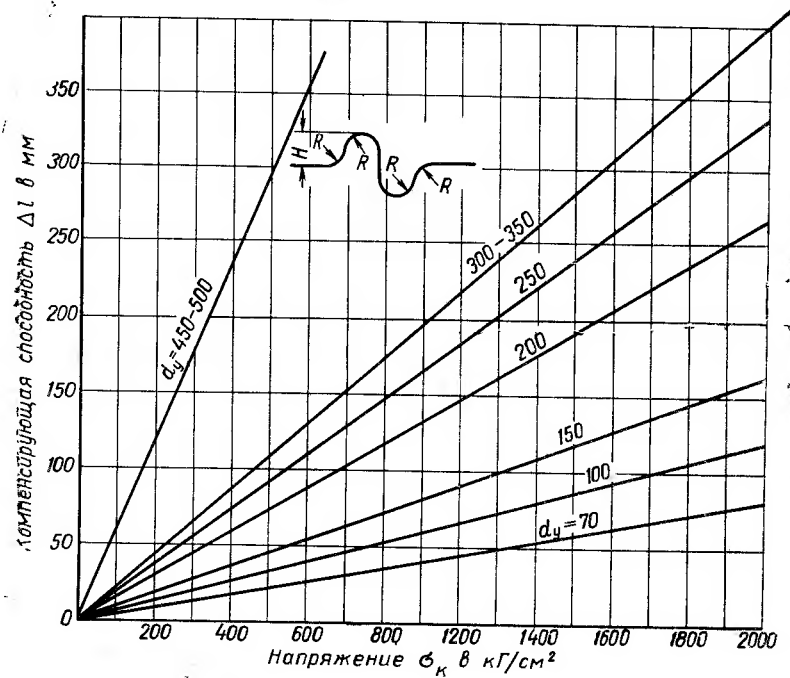
ПРИЛОЖЕНИЕ XV

График для определения компенсационных напряжений
в П-образных компенсаторах $d_y = 200 \div 1200$ мм
со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см



ПРИЛОЖЕНИЕ XVI

График для определения компенсационных напряжений в S-образных компенсаторах с гнутыми отводами



ПРИЛОЖЕНИЕ XVII

График для определения компенсационных напряжений в Л-образных компенсаторах $d_y = 80 \div 500$ мм с гнутыми отводами при $R \approx 4 d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см

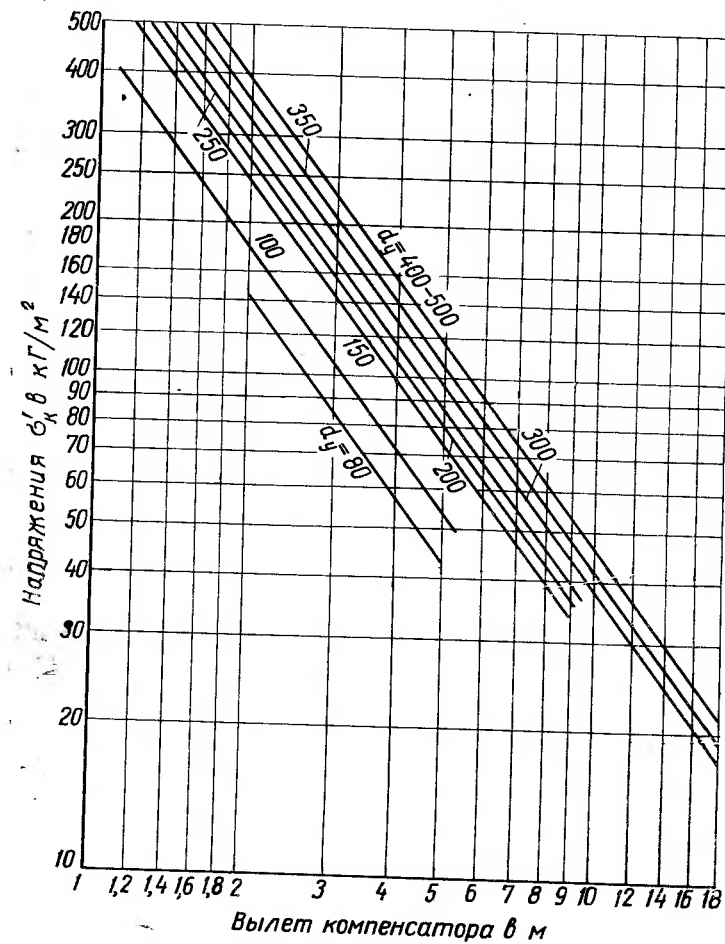
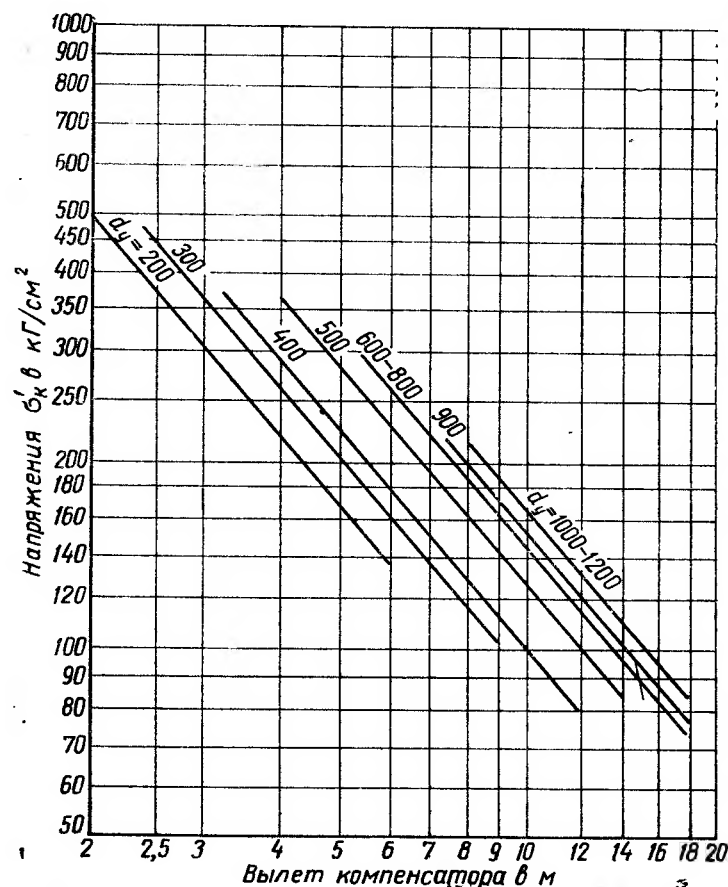


График для определения компенсационных напряжений в Л-образных компенсаторах $d_y = 200 \div 1200$ мм со сварными отводами при $R \approx d_n$ и $\Delta l_x = 1$ см



- Аксельрод Л. С., Лямин А. А. Шире внедрять экономичные методы прокладки тепловых сетей. «Городское хозяйство Москвы» № 5, 1964.
- Вишневецкий Г. Д. Тепловые усилия в бесканальных тепловых сетях. Сборник научных трудов Ленинградского инженерно-строительного института, вып. 17 1954.
- Вишневецкий Г. Д. Приближенный расчет температурных напряжений в тепловых сетях бесканальной прокладки. Сб. «Проектирование городских тепловых сетей». Госэнергоиздат, 1957.
- Волошин А. А. Расчет паропроводов на тепловые расширения. Судпромгиз, 1953.
- Давидянц Н. М., Вульф Л. А. и Лямин А. А. Вопросы экономики строительства коллекторов для подземных сооружений. «Городское хозяйство Москвы» № 11, 1961.
- Динник А. Н. Продольный изгиб. ГОНТИ, 1939.
- Залкинд Е. М. Приложение к нормам расчета на прочность котельных агрегатов, кн. 17. Машгиздат, 1950.
- Залкинд Е. М. Механический расчет прокладок трубопроводов на мачтах. «Электрические станции» № 2, 1963.
- Зельксон Н. М., Шпеер М. Г. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей. Госэнергоиздат, 1962.
- Камерштейн А. Г., Ручимский М. Н. Расчет заводских трубопроводов на прочность. Гостоптехиздат, 1954.
- Келлог. Расчет трубопроводных систем (перевод с англ.). Гостоптехиздат, 1962.
- Константинов И. А., Константинов В. И. Практические методы и примеры расчета железобетонных конструкций. Госстройиздат, М.-Л., 1963.
- Кузнецов Л. А., Рудомин Б. В. Конструирование и расчет трубопроводов теплосиловых установок. Машгиз, 1949.
- Лопатин Б. В. Тепловые сети, строительные конструкции и их расчет. Госстройиздат, 1954.
- Лопатин Б. В. Расчет механически связанных трубопроводов с предельным напряжением. «Электрические станции» № 3, 1962.
- Лопатин Б. В. Бесканальная прокладка подземных тепловых сетей. «Известия высших учебных заведений. Энергетика» № 8, 1958.
- Лямин А. А. О повышении надежности работы тепловых сетей. «Водоснабжение и санитарная техника» № 1, 1961.
- Лямин А. А. Выбор строительных конструкций тепловых сетей. Сб. «Проектирование городских тепловых сетей». Госэнергоиздат, 1957.
- Лямин А. А., Аксенов М. А. Прокладка тепловых сетей по мостам. «Городское хозяйство Москвы» № 2, 1957.
- Лямин А. А., Скворцов А. А. Пути экономии металла в строительстве тепловых сетей. «Водоснабжение и санитарная техника» № 1, 1959.
- Петелин Г. М. Трубопроводы электростанций. Госэнергоиздат, 1950.
- Скворцов А. А. Компенсационные устройства теплофикационных трубопроводов. Госэнергоиздат, 1961.
- Скворцов А. А. Расчет трубопроводов на прочность по предельному состоянию. «Нефтяное хозяйство» № 1, 1953.
- Скворцов А. А., Бунин В. С. Графики для расчета паропроводов. «Теплоэнергетика» № 9, 1957.
- Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. Госэнергоиздат, 1963.
- Швенк Э. Трубопроводы высокого давления электростанций (перевод с нем.). Госэнергоиздат, 1959.
- Юргенсон Х. Гибкость и прочность трубопроводов (перевод с нем.). Госэнергоиздат, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Раздел первый. Строительные конструкции тепловых сетей	7
Глава I. Основные элементы проектирования конструкций тепловых сетей	—
1. Общие положения	—
2. Конструкции тепловых сетей	10
3. Выбор конструкций теплопроводов	16
4. Показатели сравнительной стоимости конструкций	19
Глава II. Основные положения по расчету конструкций тепловых сетей	—
1. Нагрузки, действующие на конструкции тепловых сетей	21
2. Расчетные схемы	27
Глава III. Конструкции сборных непроходных каналов	47
1. Каналы прямоугольного сечения со сборными бетонными стенками	—
2. Каналы прямоугольного сечения со сборными железобетонными стенками	50
3. Каналы из сборных железобетонных сводов	52
4. Каналы прямоугольного сечения из сборных железобетонных рам	54
5. Унифицированные сборные железобетонные каналы	58
Глава IV. Конструкции сборных полупроходных каналов	60
1. Каналы прямоугольного сечения	—
2. Каналы круглого сечения	67
3. Каналы двухъячейковые	69
Глава V. Конструкции сборных проходных туннелей	73
1. Туннели из сборных железобетонных деталей	—
2. Унифицированные сборные железобетонные туннели	78
3. Туннели круглого сечения при щитовой проходке	80
Глава VI. Бесканальные конструкции теплопроводов	82
1. Конструкции теплопроводов в двухслойных оболочках	—
2. Конструкции теплопроводов в однослойных оболочках	85
3. Засыпные конструкции	91
4. Комбинированные конструкции	92
Глава VII. Конструкции по трассе теплопроводов	96
1. Камеры тепловых сетей	—
2. Сборные железобетонные перекрытия камер	100

	Стр.
3. Сборные ниши для П-образных компенсаторов	101
4. Неподвижные опоры	105
Глава VIII. Конструкции надземных теплопроводов	110
1. Способы надземной прокладки теплопроводов	—
2. Конструкция мачт и опор	113
3. Прокладка теплопроводов на кронштейнах	120
Глава IX. Специальные сооружения	123
1. Подводные туннели	—
2. Подводные переходы в дюкерах	129
3. Мостовые переходы	131
4. Эстакады	135
5. Прокладка теплопроводов по существующим мостам	140
6. Подземные переходы теплопроводов в футлярах	145
7. Туннельные переходы	150
Раздел второй. Конструкции теплопроводов	—
Глава X. Теплофикационные трубопроводы и их конструктивные элементы	153
1. Характеристика условий работы теплофикационных трубопроводов	—
2. Рекомендации по выбору труб для тепловых сетей	155
3. Подвижные опоры	157
4. Закрепление трубопроводов в местах установки неподвижных опор	166
5. Запорно-регулирующая арматура для теплофикационных трубопроводов	173
6. Компенсационные устройства	174
Глава XI. Расчет теплофикационных трубопроводов на прочность	185
1. Основные положения теории расчета	—
2. Расчет трубопроводов на внутреннее давление и определение толщины стенок труб	188
3. Расчет трубопроводов на изгиб под действием весовых нагрузок	189
4. Усиление труб с целью увеличения расстояний между опорами трубопроводов	193
5. Расчет трубопроводов, уложенных на подвесных опорах	198
6. Расчет усилий, действующих на неподвижные опоры теплопроводов	201
7. Расчет теплопроводов на продольный изгиб	206
Глава XII. Расчет усилий и напряжений в бесканальных теплопроводах при температурных воздействиях	209
1. Вывод расчетных уравнений	—
2. Расчет подземных бесканальных теплопроводов на прочность и компенсацию температурных удлинений	215
3. Температурные перемещения бесканальных теплопроводов	221
4. Определение расчетных величин сопротивления грунта при температурных перемещениях труб	222
5. Расчет бесканальных теплопроводов на продольный изгиб с учетом сопротивления окружающего грунта	2
Глава XIII. Расчет трубопроводов на температурные удлинения	228
1. Метод «упругого центра»	229
2. Определение гибкости отводов	231
	295

3. Расчет усилий и напряжений в самокомпенсирующихся трубопроводах Г-образной конфигурации	234
4. Расчет усилий и напряжений в самокомпенсирующихся трубопроводах Z-образной конфигурации	241
5. Суммарные напряжения в самокомпенсирующихся трубопроводах	247
6. Расчет симметричных П-образных компенсаторов	250
7. Расчет S-образных компенсаторов	256
8. Расчет Л-образных компенсаторов	263
9. Определение сил трения в сальниковых компенсаторах	265

Глава XIV. Теплоизоляционные конструкции теплопроводов	267
1. Основные требования, предъявляемые к конструкциям и материалам для изоляции подземных теплопроводов	—
2. Характеристики теплоизоляционных материалов для подземных теплопроводов	268
3. Новые конструкции и материалы для изоляции подземных теплопроводов	270
Приложения	274
Литература	293

Преди

Р.

Глава
теі

1.

2.

3. і

4. l

Глава I

1. І

2. F

Глава I

1. K

м.

2. K

ст

3. K₁4. K₂

ра

5. У_н

Глава IV

1. Ка

2. Ка.

3. Ка₁

Глава V.

1. Тун

2. Уни

3. Тун

Глава VI.

1. Ко_н2. Ко_к

3. Зась

4. Ко_м

Глава VII

1. Ка_{ме}2. Сбо_р

294

Лямин Анатолий Александрович
Скворцов Александр Александрович

Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей

Тем. план 1965 г. № 154

* * *

Стройиздат
Москва, Третьяковский проезд, д. 1

* * *

Редактор издательства И. П. Скворцова
Переплет художника А. С. Зубова
Технический редактор Т. М. Гольберг
Корректор М. А. Шифрина

Сдано в набор 8/IV 1965 г.
Т. 12869
Тираж 12 000 экз

Бумага 60 × 90^{1/8} д. л. — 9,25 бум. л. (18,03 уч.-над. л.)
Изд. № AV-7540.

Подписано к печати 7/X 1965 г.
Зак. № 417. Цена 1 руб.

Подольская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25.